



UNIWERSYTET SZCZECIŃSKI
INSTYTUT ZARZĄDZANIA

mgr ALEKSANDRA CHOLEWA-DOMANAGIĆ

Autoreferat rozprawy doktorskiej pt.:

**IMPLEMENTACJA METODY BLOCKCHAIN W
ODPOWIEDZIALNYM ŁAŃCUCHU DOSTAW, W PRZEMYSŁE
METALURGICZNYM, NA PRZYKŁADZIE PIONOWO
ZINTEGROWANEGO PROJEKTU – LUNA SMELTER LTD., HUTY
CYNY W RWANDZIE**

Promotor:

dr hab. Radosław Miśkiewicz, prof. USz

Uniwersytet Szczeciński

Promotor pomocniczy:

dr Bartosz Pilecki

Uniwersytet Szczeciński

Recenzenci:

dr hab. inż. Joanna Nowakowska-Grunt, prof. WAT

Wojskowa Akademia Techniczna

dr hab. inż. Marta Starostka-Patyk, prof. PCz

Politechnika Częstochowska

dr hab. inż. Krzysztof Witkowski, prof. UZ

Uniwersytet Zielonogórski

Szczecin 2025

SPIS TREŚCI

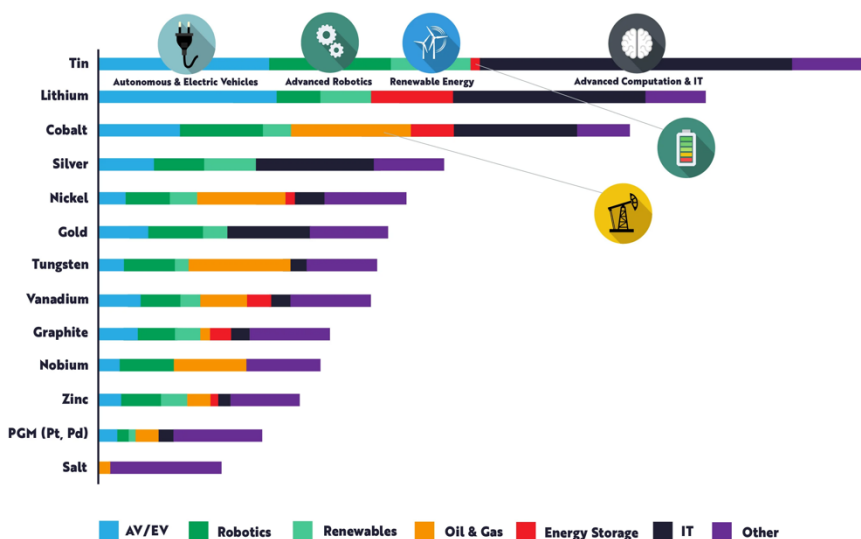
1. UZASADNIENIE WYBORU TEMATU.....	3
2. CEL NAUKOWY ROZPRAWY I HIPOTEZY BADAWCZE	7
3. ZAKRES PRZEDMIOTOWY I PODMIOTOWY BADANIA.....	9
4. STRUKTURA PRACY	11
5. METODYKA BADANIA.....	15
6. WYNIKI EMPIRYCZNE.....	24
7. WNIOSKI KOŃCOWE I WKŁAD TEORETYCZNY	37
8. SPIS TABEL	41
9. SPIS RYSUNKÓW.....	41
10. BIBLIOGRAFIA	42
11. REMINISCENCJE Z BADAŃ.....	44

1. UZASADNIENIE WYBORU TEMATU

Implementacja metody blockchain w odpowiedzialnych łańcuchach dostaw surowców mineralnych stanowi obszar badawczy o wyjątkowej aktualności i strategicznym znaczeniu. Niesie ze sobą istotne konsekwencje praktyczne dla umacniania paradygmatu zrównoważonego rozwoju w skali globalnej oraz dla kształtowania etycznych modeli pozyskiwania zasobów. Autorka podejmuje w pracy problematykę wynikającą ze zbiegu wielu czynników, które czynią tę tematykę szczególnie doniosłą i wartą pogłębionej refleksji naukowej.

Zapotrzebowanie na surowce krytyczne w kontekście transformacji ku zielonej gospodarce.

Globalny wyścig o surowce krytyczne osiągnął bezprecedensową skalę w miarę przyspieszania światowych procesów transformacji energetycznej oraz cyfrowej (International Energy Agency, 2023). Cyna, zaliczana do metali technologicznych niezbędnych w produkcji pojazdów elektrycznych, turbin wiatrowych, baterii, półprzewodników i ogniw fotowoltaicznych, stanowi jedno z najbardziej wyrazistych ucieleśnień tego wyścigu (U.S. Geological Survey, 2023). Przy rocznej światowej produkcji sięgającej około 310 tysięcy ton ze źródeł pierwotnych oraz zasobach wystarczających jedynie na 15 lat przy obecnym poziomie konsumpcji, metal ten symbolizuje narastającą dysproporcję między podażą a popytem, która będzie się pogłębiać wraz z postępowaniem transformacji energetycznej (Pearce, 2023). Massachusetts Institute of Technology określił cynę mianem metalu, który wywrze najistotniejszy wpływ na przyszłe technologie, prognozując wzrost popytu o co najmniej 50 tysięcy ton rocznie do roku 2030 (ITA, 2021).



Rysunek 1 – Surowce o największym wpływie na technologie przyszłości wg MIT, Źródło: ITA – International Tin Association, [online:] <https://www.internationaltin.org/> (dostęp: 10.11.2022)

Wymogi regulacyjne i imperatywy należytej staranności

Unia Europejska wprowadziła bezprecedensowy zestaw ram regulacyjnych ukierunkowanych na odpowiedzialne pozyskiwanie surowców, obejmujący m.in.:

- Dyrektywę w sprawie raportowania zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstw (ang. Corporate Sustainability Reporting Directive – CSRD), nakładającą obowiązek ujawniania ryzyk ESG (*Corporate sustainability reporting – European Commission, b.d.*),
- Dyrektywę w sprawie należytej staranności (ang. Corporate Sustainability Due Dilligence Directive – CSDDD) w zakresie zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstw, wymagającą przeciwdziałania naruszeniom praw człowieka oraz negatywnym oddziaływaniom na środowisko (*Directive – EU – 2024/1760 – EN – EUR-Lex, b.d.*),
- Rozporządzenie w Sprawie Baterii (UE 2023/1542) (*Regulation – 2023/1542 – EN – EUR-Lex, b.d.*),
- Rozporządzenie w sprawie pozyskiwania minerałów z obszarów wysokiego ryzyka (UE 2017/821), regulujące obrót surowcami 3TG (*Regulation (EU) 2017/ 821 of the European Parliament and of the Council, 2017*),
- Akt w sprawie surowców krytycznych UE (ang. Critical Raw Materials Act -CRMA), promujący etyczne partnerstwa oraz w pełni identyfikowalne łańcuchy dostaw (*Critical Raw Materials Act – European Commission, b.d.*).

Przepisy te przekształciły identyfikowalność z dobrowolnej praktyki o charakterze rekomendacyjnym w wymóg prawny i operacyjny, kreując ekosystem zgodności, w którym interesariusze działający zarówno w górnym, jak i w dolnym segmencie łańcucha dostaw muszą efektywnie współpracować (Loch i in., 2023).

Luki w identyfikowalności pochodzenia surowców i braki systemowe

Pomimo rosnącej presji regulacyjnej, obecne systemy identyfikowalności w łańcuchach dostaw surowców mineralnych wykazują alarmujące niedostatki. Dane U.S. Government Accountability Office wskazują, że aż 53% przedsiębiorstw prowadzących procedury należytej staranności zgodnie z ustawą Dodd-Frank nie jest w stanie ustalić pochodzenia swoich minerałów konfliktowych (U.S. GAO, 2023). Odsetek ten pozostaje niezmienny od roku 2014.

Wg analizy organizacji pozarządowych, zajmujących się tematyką wpływu sektora wydobywczego na kwestie łamania praw człowieka, na trwałą niezdolność systemu do sprostania wymogom identyfikowalności wpływa kilku zasadniczych czynników (Hoex i in., 2023):

- Fragmentacja systemów – tradycyjne rozwiązania funkcjonują w odizolowanych silosach, gdzie przedsiębiorstwa górnicze, spółki handlowe, zakłady przetwórcze i producenci komponentów końcowych utrzymują rozproszone systemy dokumentacji, pozbawione pełnej integracji typu *end-to-end*.
- Problemy z integralnością danych – brak jest powszechnie uznanego, niezależnie weryfikowalnego i skalowalnego narzędzia, które dostarczałoby obiektywnych dowodów pochodzenia oraz śladu ESG dla surowców krytycznych.
- Deficyty zaufania – głośne kontrowersje, w które uwikłani byli kluczowi odbiorcy końcowi, dotyczące pozyskiwania minerałów z etycznie wątpliwych źródeł, unaocniają istotne ryzyka reputacyjne i rynkowe wynikające z zawodności obecnych mechanizmów identyfikowalności.

Wyzwania związane z minerałami konfliktowymi w Regionie Wielkich Jezior Afrykańskich

Region Wielkich Jezior Afrykańskich, w którym znajdują się jedne z najistotniejszych na świecie złóż tzw. minerałów 3T -cyny, tantalu, wolframu (and. tin, tantalum, tungsten), stanowi szczególnie skomplikowane środowisko pozyskiwania surowców (OECD, 2023). Sektor górniczy zatrudnia tam około 300 tysięcy osób, często będących jedynymi żywicielami rodzin w społecznościach o niskim poziomie rozwoju (World Bank, 2020).

Zdecydowana większość wydobywania odbywa się w sposób nielegalny, rzemieślniczy (ang. artisanal and small scale mining – ASM) przy użyciu prymitywnych metod i w warunkach zagrażających życiu. Historyczne powiązanie eksploatacji minerałów z finansowaniem konfliktów zbrojnych, naruszeniami praw człowieka oraz degradacją środowiska naturalnego tworzy wyraźny imperatyw etyczny wprowadzania skuteczniejszych systemów identyfikowalności (Kapoor i in., 2022).

Przykład Rwandy, będącej gospodarką post-konfliktową, która dąży do formalizacji swojego sektora górniczego przy jednoczesnym udziale w globalnych łańcuchach dostaw, unaocnia

skalę wyzwań stojących przed krajami produkującymi surowce w regionach wysokiego ryzyka (Hilson, 2020).

Możliwości technologiczne a luki badawcze

Choć metoda blockchain bywa często wskazywana jako rozwiązanie problemu identyfikowalności w łańcuchach dostaw surowców mineralnych, empiryczne badania nad jej wdrożeniem, weryfikacją i mechanizmami zarządzania w warunkach realnych pozostają ograniczone (Casey & Wong, 2019). Dotychczasowe studia koncentrowały się zazwyczaj na:

- inżynierskich aspektach projektowania systemów opartych na technologiach rozproszonego rejestru (ang. distributed ledger technology – DLT),
- politycznej ekonomice wydobywania surowców,
- ramach prawnych dotyczących należytej staranności w łańcuchach dostaw surowców mineralnych.

Jednocześnie widoczne są istotne luki badawcze w zakresie:

- ram nauk o zarządzaniu i jakości dla koordynacji relacji uczestników łańcucha dostaw typu upstream-downstream,
- mechanizmów budowania zaufania między aktorami funkcjonującymi w ramach łańcucha dostaw surowców, szczególnie gdy włączają one uczestników z obszarów objętych konfliktami i wysokiego ryzyka (ang. Conflict Affected High Risk Areas – CAHRA),
- metodologii zapewnienia jakości w ocenie wiarygodności danych dotyczących identyfikowalności źródła pochodzenia surowców, w warunkach zwiększonego ryzyka,
- empirycznych studiów przypadku implementacji metody blockchain w operacyjnych kontekstach górniczych.

Strategiczne implikacje geopolityczne

Splot niedoboru surowców krytycznych, rosnących wymogów regulacyjnych oraz wdrażania rozwiązań technologicznych niesie ze sobą daleko idące konsekwencje geopolityczne. Nacjonalizm surowcowy, czego przykładami są regulacje takie jak amerykańska Ustawa o redukcji inflacji (ang. Inflation Reduction Act) czy europejski Akt w sprawie surowców krytycznych (ang. Critical Raw Materials Act), zaostrza konkurencję o dostęp do

surowców, jednocześnie przerzucając ryzyka środowiskowe i społeczne na regiony wydobywcze (Vlaskamp, 2025). Przedmiotem badań autorki jest analiza potencjału metody blockchain jako narzędzia umożliwiającego bardziej sprawiedliwą dystrybucję wartości oraz skuteczniejsze zarządzanie ryzykiem w globalnych łańcuchach dostaw surowców mineralnych.

Wartość wdrożeniowa badań

Badania autorki prowadzone były w formule doktoratu wdrożeniowego, zgodnie z regulacjami Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, łączącej działalność naukową z praktycznym zastosowaniem w sferze zawodowej (MNiSW, 2019).). Takie podejście sprzyja współpracy pomiędzy instytucjami szkolnictwa wyższego a otoczeniem społeczno-gospodarczym, a zrealizowane dzięki temu badania posiadają istotny charakter aplikacyjny, wykraczając poza wymiar czysto akademicki, znajdując bezpośrednie zastosowanie w praktyce przemysłowej. Wyniki badań autorki zostały już wdrożone w procesach operacyjnych spółki Re Alloys Sp. z o.o. działającej w ramach Grupy Luma Holding, gdzie certyfikaty cyfrowe oparte na metodzie blockchain są aktywnie wykorzystywane zarówno w celu zapewnienia zgodności z regulacjami Unii Europejskiej, jak i w celu usprawnienia komunikacji z interesariuszami i klientami segmentu cynowego Grupy.

Ponadto badania te stanowią bezpośrednie zaplecze merytoryczne dla realizowanego przez European Partnership for Responsible Minerals (EPRM) Projektu Tin Link (*Home – Tin Link*, b.d.), co potwierdza ich natychmiastową i praktyczną implementację.

2. CEL NAUKOWY ROZPRAWY I HIPOTEZY BADAWCZE

Cel naukowy

Celem naukowym proponowanej rozprawy doktorskiej było wypełnienie luki badawczej dotyczącej zastosowania metody blockchain w odpowiedzialnych łańcuchach dostaw surowców, zobrazowanej poprzez kompleksowe studium przypadku pionowo zintegrowanego projektu hutniczego – Luna Smelter Ltd. w Rwandzie. Badania zmierzały do poszerzenia wciąż niedostatecznie rozwiniętych obszarów teoretycznych i empirycznych w tej dziedzinie, ze szczególnym uwzględnieniem opracowania i wdrożenia nowych technik oraz

narzędzi odpowiednich dla zastosowania metody blockchain w zarządzaniu odpowiedzialnymi łańcuchami dostaw.

Teza główna

Teza główna niniejszej rozprawy zakłada, iż metoda blockchain umożliwia sprawowanie pełnej kontroli nad łańcuchem dostaw oraz weryfikację źródeł pochodzenia surowców, w zgodzie z wytycznymi OECD, amerykańską ustawą Dodd-Frank Act z dnia 21 lipca 2010 roku oraz rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 2017/821 z dnia 17 maja 2017 roku.

Teza ta przedstawia metodę blockchain jako ramę społeczno-techniczną, która łączy stałą architekturę danych z regulacyjnymi i instytucjonalnymi strukturami ładu, stanowiąc dźwignię etycznej transformacji i doskonałości operacyjnej w odpowiedzialnych łańcuchach dostaw surowców.

Hipotezy badawcze

Dla weryfikacji głównej tezy rozprawy sformułowano cztery wzajemnie powiązane hipotezy badawcze (H1, H2, H3, H4), z których każda odnosi się do kluczowych aspektów wdrażania metody blockchain w zarządzaniu odpowiedzialnymi łańcuchami dostaw. Hipotezy badawcze są przedstawione w Tabeli 1.

H1	Wzmacnianie relacji z interesariuszami	Implementacja metody blockchain wzmacnia relacje z interesariuszami w łańcuchu dostaw surowców.	Hipoteza ta analizuje, w jaki sposób przejrzystość, niezmiennosc danych oraz zdolność do ich udostępniania w czasie rzeczywistym mogą budować zaufanie wśród zróżnicowanych uczestników łańcucha dostaw surowców – zaczynając od poziomu kopalni, poprzez spółki handlowe, huty, po regulatorów i producentów komponentów końcowych. Badaniu poddano kwestię, czy metoda blockchain może zniwelować asymetrię informacyjną i sprzyjać tworzeniu bardziej partnerskich relacji w całym łańcuchu dostaw.
H2	Zgodność regulacyjna i wiarygodność	Metoda blockchain podnosi wiarygodność raportowania w zakresie minerałów konfliktowych, zapewniając zgodność z regulacjami międzynarodowymi.	Hipoteza ta odnosi się do potencjału metody blockchain w zakresie poprawy rzetelności i weryfikowalności sprawozdawczości regulacyjnej obowiązującej w Unii Europejskiej i Stanach Zjednoczonych, jak i w ramach regulacji wdrożonych przez Międzynarodową Konferencję ds. Regionu Wielkich Jezior (ang. International Conference of the Great Lakes Region ICGLR). Badanie dotyczy tego, czy metoda blockchain jest w stanie rozwiązać trwały problem identyfikowalności źródła pochodzenia minerałów.
H3	Wymogi wdrożeniowe i zdolności organizacyjne	Skuteczna implementacja metody blockchain wymaga wsparcia zewnętrznego oraz odpowiednich zasobów organizacyjnych.	Hipoteza ta uznaje, że wdrożenie metody blockchain nie stanowi wyłącznie wyzwania technologicznego, lecz wymaga również znacznych zasobów organizacyjnych, finansowych i instytucjonalnych. Analizowane są warunki konieczne do pomyślnej implementacji metody blockchain w środowiskach o ograniczonych zasobach, charakterystycznych dla górnego segmentu (kopalnie-upstream) łańcuchów dostaw surowców mineralnych.
H4	Optymalizacja procesu należytej staranności	Metoda blockchain upraszcza proces należytej staranności i podnosi wiarygodność danych dla importerów i producentów produktów 3T.	Hipoteza ta bada potencjał metody blockchain w zakresie usprawnienia złożonych procedur należytej staranności, co w konsekwencji prowadzi do poprawy jakości i wiarygodności danych, niezbędnych zarówno dla zapewnienia zgodności regulacyjnej, jak i dla podejmowania świadomych decyzji przez interesariuszy.

Tabela 1 – Hipotezy badawcze. Opracowanie własne.

3. ZAKRES PRZEDMIOTOWY I PODMIOTOWY BADANIA

Zakres przedmiotowy

Zakres przedmiotowy rozprawy obejmuje:

- Kontekst surowców krytycznych – koncentracja na pozyskiwaniu cyny z obszarów objętych konfliktami i wysokiego ryzyka, ze szczególnym uwzględnieniem Regionu Wielkich Jezior Afrykańskich,
- Ramy regulacyjne – zgodność z Wytycznymi OECD w zakresie należytej staranności, ustawą amerykańską Dodd-Frank Act oraz rozporządzeniem UE dotyczącym minerałów konfliktowych,

- Implementację technologiczną – narzędzia identyfikowalności oparte na technologiach rozproszonego rejestru oraz cyfrowe paszporty produktów,
- Integrację łańcucha dostaw – od górnictwa typu ASM po dalsze etapy przetwórstwa i rynki globalne,
- Systemy zgodności – integrację z ramami standardu Responsible Minerals Assurance Process (RMAP).

Zakres podmiotowy

W badaniach zastosowano metodę pojedynczego studium przypadku, koncentrującą się na działalności Luna Smelter Ltd., pionowo zintegrowanego zakładu przetwórstwa cyny w Rwandzie. Wybór Luny miał charakter strategiczny ze względu na jej wyjątkowe usytuowanie na styku następujących obszarów:

- odpowiedzialnych praktyk pozyskiwania surowców w regionach podwyższonego ryzyka,
- wyzwań w zakresie ładu i zarządzania w Regionie Wielkich Jezior Afrykańskich,
- globalnych wymogów transformacji energetycznej w odniesieniu do surowców krytycznych,
- systemów certyfikacji międzynarodowej oraz integracji uczestników łańcucha dostaw surowców typu upstream–downstream.

Jako jedna z nielicznych afrykańskich hut posiadających certyfikację międzynarodową RMAP i wdrożoną kompleksową integrację łańcucha dostaw surowców, Luna stanowi wartościowy model dla oceny systemów identyfikowalności opartych na metodzie blockchain w warunkach pozyskiwania surowców z obszarów wysokiego ryzyka. Studium przypadku Luny umożliwiło pogłębioną analizę zaufania interesariuszy, zgodności regulacyjnej oraz wdrożenia tej metody w warunkach rzeczywistych. Jej strategiczne znaczenie dodatkowo potęguje rosnąca rola cyny jako surowca krytycznego w infrastrukturze energetyki odnawialnej i technologiach cyfrowych.

Badania zostały zaprojektowane tak, aby dostarczyć praktycznych wniosków dla różnych grup interesariuszy:

- Biznesu – ramy strategiczne dla wdrażania metody blockchain w zarządzaniu łańcuchem dostaw,

- Regulatorów – rekomendacje oparte na dowodach empirycznych dla rozwoju i egzekwowania wdrożonych polityk,
- Organizacji społeczeństwa obywatelskiego – narzędzia dla usprawnionego monitoringu i kontroli,
- Organizacji międzynarodowych – modele wsparcia odpowiedzialnego pozyskiwania surowców w gospodarkach rozwijających się.

Rozprawa stanowi aktualną i empirycznie ugruntowaną odpowiedź na jedno z najpoważniejszych wyzwań zrównoważonego rozwoju: zapewnienie odpowiedzialnych, przejrzystych i prawnie zgodnych łańcuchów dostaw surowców mineralnych w kontekstach wysokiego ryzyka. Poprzez połączenie analizy regulacyjnej, przeglądu technologicznego oraz badań terenowych, praca wnosi nowe spojrzenie na potencjał metody blockchain jako instytucjonalnego narzędzia umożliwiającego identyfikowalność oraz etyczną transformację w globalnej gospodarce surowców mineralnych.

4. STRUKTURA PRACY

Rozprawa doktorska składa się z 248 stron tekstu zawierającego spis treści, wprowadzenie, sześć rozdziałów i podsumowanie, zawarte wraz z wnioskami końcowymi w rozdziale szóstym. Uzupełnienie pracy stanowi spis rzeczowy, załączniki i streszczenia w języku angielskim i polskim. Praca jest napisana w języku angielskim. Z założenia dysertacja ma charakter teoretyczno-empiryczny, dlatego też jej struktura została podzielona na dwie wyraźne części, z których pierwsza obejmuje rozdziały teoretyczne (1-3), natomiast część druga stanowi empiryczne ujęcie podjętych rozważań.

Poszczególne rozdziały pracy doktorskiej dotyczą następujących zagadnień:

Rozdział I ukazuje cynę jako kluczowy czynnik umożliwiający rozwój technologii niskoemisyjnych, osadzając łańcuchy dostaw cyny w ramach globalnej gospodarki politycznej. Rozdział wprowadza także Wytyczne OECD dotyczące należytej staranności w zakresie odpowiedzialnych łańcuchów dostaw surowców z obszarów dotkniętych konfliktami i obszarów wysokiego ryzyka oraz omawia geopolityczne znaczenie surowców krytycznych w kontekście międzynarodowych regulacji.

Rozdział II poświęcony jest analizie ram prawnych, porównując ustawę amerykańską Dodd-Frank Act oraz Rozporządzenie UE 2017/821 w sprawie obowiązków importerów cyny, tantalu i wolframu, ich rud oraz złota z obszarów dotkniętych konfliktami i obszarów wysokiego ryzyka, a także ich wymogi w zakresie należytej staranności. W rozdziale wskazano, w jaki sposób regulacje te kształtują globalne obowiązki sprawozdawcze dotyczące minerałów 3TG oraz omówiono instytucjonalne mechanizmy wdrożeniowe, w tym Regionalny Mechanizm Certyfikacji ICGLR oraz system certyfikacji Responsible Minerals Assurance Process, równocześnie poddając krytycznej ocenie skuteczność ich egzekwowania.

Rozdział III podejmuje analizę transformacyjnego potencjału metody blockchain jako narzędzia identyfikowalności, omawiając jej kluczowe zasady technologiczne, w tym stałość danych, walidację w modelu peer-to-peer oraz inteligentne kontrakty. Studium przypadków, w szczególności implementacja systemu Minespider w sektorze cyny, ukazuje zdolność metody blockchain do śledzenia pochodzenia, logistyki oraz wskaźników ESG, przy równoczesnym spełnianiu wymogów standardu RMAP oraz OECD w zakresie cyfrowej dokumentacji.

Rozdział IV przedstawia jakościową, zorientowaną na studium przypadku metodologię badawczą, łączącą interpretatywizm z paradygmatem nauki zaangażowanej. Wieloetapowy proces badawczy obejmował konsultacje eksperckie, studium przypadku w Luna Smelter oraz proces walidacji przeprowadzony przez European Partnership for Responsible Minerals (EPRM). Dzięki analizie tematycznej wywiadów, grup fokusowych i obserwacji metodyka ta integruje wiedzę praktyków z rygorem akademickim.

Rozdział V prezentuje zasadnicze wyniki badań, które potwierdzają główną tezę rozprawy poprzez weryfikację czterech hipotez badawczych (H1–H4), odnoszących się do roli metody blockchain w zakresie identyfikowalności, zgodności regulacyjnej, zdolności implementacyjnych oraz wiarygodności danych. Rozdział dowodzi, że metoda blockchain – jako rama społeczno-techniczna integrująca niezamienialną architekturę danych z regulacyjnymi mechanizmami ładu – stanowi dźwignię etycznej transformacji w odpowiedzialnego łańcuchach dostaw surowców.

Rozdział VI konsoliduje rezultaty badań, akcentując ich wkład w nauki o zarządzaniu i nauki o jakości. Wskazuje praktyczne implikacje dla globalnych łańcuchów dostaw, instytucji regulacyjnych oraz ram raportowania ESG, a także określa ograniczenia badań i kierunki

dalszych analiz. Rozdział zawiera również refleksję nad szerszą rolą technologii cyfrowych w umacnianiu zrównoważonego rozwoju i sprawiedliwości w globalnych systemach handlowych. Szczegółowa struktura pracy jest przedstawiona w Tabeli 2.

Wstęp	
Rozdział I. Cyna a transformacja energetyczna: łańcuchy dostaw minerałów krytycznych i odpowiedzialne pozyskiwanie surowców w ujęciu globalnym	<ul style="list-style-type: none"> 1.2 Cyna jako kluczowy komponent zielonej transformacji energetycznej 1.3 Charakterystyka sektora wydobywczego i przetwórstwa cyny w Rwandzie 1.4 Zabezpieczenie dostaw cyny a problem surowców konfliktowych 1.5 Wytyczne OECD dotyczące należytej staranności w odpowiedzialnych łańcuchach dostaw minerałów z obszarów dotkniętych konfliktami i wysokiego ryzyka
Rozdział II. Standardy raportowania dotyczące surowców ze szczególnym uwzględnieniem globalnych łańcuchów dostaw z obszarów dotkniętych konfliktami i wysokiego ryzyka (CAHRA)	<ul style="list-style-type: none"> 2.1 Regulacje prawne dotyczące handlu minerałami 3T 2.2 Przegląd amerykańskiej ustawy Dodd-Frank (Sekcja 1502) i jej wpływ na zrównoważone pozyskiwanie cyny 2.3 Europejskie rozporządzenie dotyczące surowców konfliktowych 2.4 Porównanie najważniejszych regulacji dotyczących surowców konfliktowych 2.5 Kluczowi interesariusze zaangażowani w implementację praktyk odpowiedzialnego pozyskiwania w regionie – ICGLR 2.6 Mechanizmy i programy zapewniania odpowiedzialności w segmencie wydobywczym typu upstream
Rozdział III. Zastosowania przemysłowe technologii blockchain i narzędzi identyfikowalności w globalnych łańcuchach dostaw cyny	<ul style="list-style-type: none"> 3.1 Wprowadzenie do technologii blockchain – kluczowe definicje i propozycja wartości 3.2 Historia wdrażania i bieżące wyzwania 3.3 Przegląd globalnej adopcji i zastosowań technologii blockchain 3.4 Logistyka łańcucha dostaw – rozwiązania oparte na blockchain 3.5 Przegląd narzędzi identyfikowalności minerałów i metali opartych na blockchain w kontekście transparentności i monitorowania wskaźników ESG 3.6 Technologia Minespider i rozwiązania dostosowane do sektora cyny
Rozdział IV. Projekt badawczy i ramy metodologiczne	<ul style="list-style-type: none"> 4.1 Zastosowanie badań jakościowych w ramach alternatywnego paradygmatu nauk o zarządzaniu i jakości 4.2 Koncepcja badania zaangażowanego i podejście studium przypadku 4.3 Projektowanie badań w podejściu studium przypadku 4.4 Fazy implementacji empirycznej strategii badawczej 4.5 Uwagi uzupełniające dotyczące zastosowanej metodologii badawczej
Rozdział V. Wyniki badań empirycznych i weryfikacja hipotez	<ul style="list-style-type: none"> 5.1 Pogłębiona walidacja ekspercka 5.2 Wprowadzenie do studium przypadku – implementacja metody blockchain w Luna Smelter Ltd. 5.3 Studium przypadku Luna Smelter – ocena percepcji i gotowości interesariuszy 5.4 Studium przypadku Luna Smelter – rola metody blockchain w zapewnianiu zgodności regulacyjnej 5.5 Studium przypadku Luna Smelter – zdolności organizacyjne i wsparcie zewnętrzne 5.6 Studium przypadku Luna Smelter – upraszczanie procesów należytej staranności i wiarygodność danych 5.7 Weryfikacja interesariuszy w ramach EPRM 5.8 Synteza wyników 5.9 Umieszczenie wyników empirycznych w debacie akademickiej dotyczącej zastosowania metody blockchain w odpowiedzialnym pozyskiwaniu surowców
Rozdział VI. Podsumowanie i wnioski końcowe	<ul style="list-style-type: none"> 6.1 Rozstrzygnięcie tezy i syntetyczny przegląd badań 6.2 Wkład w rozwój dyscypliny nauk o zarządzaniu i jakości 6.3 Implikacje naukowe, geopolityczne i rozwojowe 6.4 Ograniczenia badań, kierunki dalszych poszukiwań i refleksja końcowa
Bibliografia	
Dodatkowe źródła	
Spis tabeli	
Spis rysunków	
Załączniki	

Tabela 2 – Struktura pracy doktorskiej

5. METODYKA BADAŃ

Przedmiot badań, paradygmat metodologiczny i podstawa filozoficzna

Przeprowadzone badania zostały osadzone w paradygmacie interpretatywnym w ramach alternatywnego nurtu nauk o zarządzaniu i jakości, ze szczególnym podkreśleniem znaczenia metod jakościowych (Saunders, 2018; Gibbert et al., 2008). Wybór ten wynika z potrzeby pogłębionego zrozumienia złożonych zjawisk społecznych i procesów, a w szczególności wielowymiarowych czynników społecznych, ekonomicznych i regulacyjnych (Glinka & Czakon, 2021), które wpływają na wdrażanie metody blockchain w sektorze wydobywczym.

Kluczowe cechy paradygmatu:

- koncentracja na rozumieniu znaczeń, doświadczeń i perspektyw,
- nacisk na kontekstowe wglądy zamiast uniwersalnych praw,
- uznanie społecznie konstruowanej rzeczywistości poprzez interakcje ludzkie,
- wykorzystanie niestandardowych i niestrukturyzowanych metod badawczych.

Chociaż badania mają przede wszystkim charakter jakościowy, w celu podniesienia wiarygodności danych i uzyskania wymiernych wskaźników dotyczących funkcjonowania metody blockchain, zastosowano triangulację uwzględniając również wybrane elementy ilościowe.

Niniejsza rozprawa doktorska opiera się na ramie metodologicznej nauki zaangażowanej (ang. Engaged Scholarship), dostosowanej do badania złożoności i silnego osadzenia kontekstowego problematyki odpowiedzialnego pozyskiwania surowców z obszarów dotkniętych konfliktami i wysokiego ryzyka. Z uwagi na dynamiczne sprzężenie polityki, technologii i interesów interesariuszy w tym obszarze, tradycyjne, hierarchiczne podejście badawcze okazałoby się niewystarczające. Zastosowanie nauki zaangażowanej umożliwia natomiast prowadzenie badań o charakterze wieloperspektywicznym i kolaboratywnym (Mathiassen, 2017), co jest kluczowe dla analizy wdrożeń metody blockchain w rzeczywistych łańcuchach dostaw surowców mineralnych.

Projekt badawczy celowo przyjął charakter partycypacyjny, opierając się na wiedzy i doświadczeniach uczestników bezpośrednio zaangażowanych w ekosystem odpowiedzialnego pozyskiwania surowców, w tym operatorów hut, dostawców technologii, organizacji pozarządowych, regulatorów i instytucji certyfikacji międzynarodowej. Dzięki aktywnemu włączeniu tych różnorodnych interesariuszy analiza przedstawiona w rozprawie odzwierciedla nie tylko rygor akademicki, lecz także praktyczną użyteczność i instytucjonalną wiarygodność (Van De Ven, 2007).

Proces dialogiczny umożliwił autorce współtworzenie wiedzy wraz z praktykami oraz doprecyzowanie kierunku badań w odpowiedzi na wyłaniające się realia terenowe. Na rysunku 2 przedstawiony został proces badawczy autorki.

1. Uzasadnienie teoretyczne

Badanie przyjmuje formę studium przypadku w celu analizy zjawiska o charakterze emergentnym – wdrażania metody blockchain w odpowiedzialnym pozyskiwaniu minerałów – które dotychczas nie doczekało się wyczerpującej walidacji naukowej. Celem pracy jest wypełnienie tej luki badawczej poprzez zbadanie implikacji adopcji technologii DLT w sektorze metali, ze szczególnym uwzględnieniem huty Luna Smelter jako przykładu unikatowego i reprezentatywnego zarazem.

2. Wybór przypadku

Zastosowano **projekt pojedynczego studium przypadku**, koncentrujący się na **Luna Smelter** – jedynej hucie cyny w Afryce w momencie rozpoczęcia badań, która:

- pozyskuje surowce z sektora górnictwa rzemieślniczego i na małą skalę (ang. Artisanal and Small-Scale Mining- ASM),
- funkcjonuje w ramach standardu **Responsible Minerals Assurance Process (RMAP)**,
- wdraża metodę **blockchain** w celu generowania cyfrowych paszportów produktów.

3. Opracowanie narzędzi służących pozyskiwaniu danych

Narzędzia gromadzenia danych zostały zaprojektowane w sposób zapewniający spójność z celami badawczymi oraz kompleksowość pozyskiwania informacji. Obejmowały one:

- **półstrukturyzowane scenariusze wywiadów** skierowane do różnych grup interesariuszy,
- **kwestionariusze badawcze** dostosowane do oceny gotowości, percepcji i świadomości technologii blockchain,
- **ramy analizy dokumentów** służące do przeglądu danych wewnętrznych huty Luna Smelter, dokumentów polityk i rejestrów zgodności,
- **protokoły obserwacyjne** wykorzystywane podczas wizyt terenowych oraz badań partycypacyjnych.

4. Struktura badań terenowych

Badanie zostało przeprowadzone w czterech fazach, z których każda obejmowała kodowanie danych oraz triangulację, mające na celu wzmocnienie analizy wewnętrznej.

FAZA 0 Faza badań wstępnych	FAZA 1 Faza walidacji eksperckiej	FAZA 1 Studium przypadku w Luna Smelter	FAZA 1 Walidacja wśród interesariuszy EPRM
Zakres badania został doprecyzowany w toku iteracyjnych konsultacji z interesariuszami sektora 3T, ekspertami technologicznymi, a także decydentami politycznymi i przedstawicielami administracji państwowej. Dodatkowo przeprowadzono ankietę wśród 107 członków Rwanda Mining Association, reprezentujących 93% aktywnych producentów minerałów 3T.	Na tym etapie przeprowadzono wywiady eksperckie w celu walidacji ram koncepcyjnych oraz doprecyzowania narzędzi badawczych. Uzyskane wnioski posłużyły do ukierunkowania kolejnych faz badania, zapewniając, że zidentyfikowane tematy i kategorie pozostaną spójne zarówno z wymiarami teoretycznymi, jak i praktycznymi adopcji metody blockchain.	Na tym etapie zrealizowano szeroko zakrojony proces gromadzenia danych obejmujący wywiady, analizę dokumentów oraz obserwację w hucie Luna Smelter. Szczególny nacisk położono na ocenę integracji technologii blockchain z procesami łańcucha dostaw huty oraz jej zgodności z wymogami RMAP.	W celu walidacji wylaniających się wyników przeprowadzono wywiady z członkami EPRM. Rozmowy objęły przedstawicieli trzech kluczowych grup interesariuszy w ramach EPRM: filaru instytucjonalno-rządowego, filaru łańcucha dostaw oraz filaru organizacji społeczeństwa obywatelskiego (CSO).

5. Analiza i generalizacja wyników

Zgromadzone dane poddano rygorystycznej analizie, obejmującej kodowanie transkryptów wywiadów z zastosowaniem analizy tematycznej w celu identyfikacji kluczowych wzorców i kategorii oraz triangulację danych, polegającą na porównaniu wyników uzyskanych z wywiadów, dokumentów i obserwacji, co zwiększyło wiarygodność ustaleń.

6. Analiza porównawcza z literaturą przedmiotu

Analiza została przeprowadzona w celu osadzenia wyników w szerszym kontekście oraz identyfikacji punktów zbieżności bądź rozbieżności z ugruntowanymi teoriami i ramami analitycznymi.

7. Uogólnienia końcowe

Finalizacja wniosków i podsumowanie wyników.

Warto podkreślić, że model nauki zaangażowanej wspiera podwójny cel dysertacji: z jednej strony generowanie wniosków teoretycznych dotyczących potencjału metody blockchain w obszarze ładu korporacyjnego, z drugiej zaś – przyczynianie się do pragmatycznych usprawnień w praktykach należytej staranności, w szczególności w kontekście działalności Luna Smelter w Rwandzie. To powiązanie eksploracji teoretycznej z badaniami zakorzenionymi w praktyce podnosi wartość pracy zarówno dla dyskursu akademickiego, jak i dla interesariuszy bezpośrednio zainteresowanych mechanizmami identyfikowalności surowców.

W celu zbadania styku innowacji cyfrowych i odpowiedzialnego pozyskiwania minerałów, autorka zastosowała projekt pojedynczego studium przypadku, skoncentrowanego na Luna Smelter w Rwandzie. Wybór ten został ugruntowany unikatową pozycją huty w łańcuchu dostaw minerałów 3T oraz jej szczególną relewancją dla głównego celu badań – oceny systemów identyfikowalności opartych na technologii DLT w obszarach objętych konfliktami i wysokiego ryzyka.

W momencie rozpoczęcia badań Luna Smelter reprezentowała wyjątkową konfigurację instytucjonalno-technologiczną. Była pierwszą działającą hutą cyny na kontynencie afrykańskim, która pozyskiwała surowce bezpośrednio z sektora ASM, co czyniło ją kluczem do badania mechanizmów etycznego pozyskiwania surowców w kontekstach wysokiego ryzyka. Co więcej, Luna jako pierwsza uzyskała zgodność w ramach Responsible Minerals Assurance Process (RMAP) – międzynarodowo uznanego systemu audytu – co potwierdziło jej instytucjonalną gotowość do wdrażania innowacji w zakresie cyfrowego zarządzania.

Najistotniejsze było jednak to, że Luna Smelter stała się pierwszym obiektem w regionie, w którym wdrożono pilotażowo cyfrowe paszporty produktów (ang. Digital Product Passports – DPP) oparte na metodzie blockchain, realizowane za pośrednictwem platformy Minespider. Ta innowacja stworzyła unikalną okazję empiryczną do zbadania adopcji tej metody w realnym, regulowanym środowisku łańcucha dostaw. Pionierska rola Luni uczyniła ją nie tylko strategicznie istotnym miejscem badań, lecz także przypadkiem reprezentatywnym dla szerszych zastosowań w przemyśle minerałów 3T.

Wewnętrzne i instrumentalne zalety studium przypadku Luna pozwoliły na pogłębioną i ukierunkowaną analizę tego, w jaki sposób metoda blockchain może wzmacniać przejrzystość, budować zaufanie interesariuszy oraz udoskonalać praktyki należytej staranności

w odpowiedzialnych łańcuchach dostaw surowców. Osadzając badania w tym wyjątkowym, lecz zarazem emblematicznym przypadku, autorka dążyła do wypracowania wniosków, które są zarówno silnie zakorzenione w kontekście, jak i możliwe do transferu do innych sektorów funkcjonujących w podobnych warunkach regulacyjnych i technologicznych (Yin, 2018).

Narzędzia i źródła gromadzenia danych

Empiryczne podstawy niniejszego badania zostały zbudowane w oparciu o zastosowanie wielu komplementarnych narzędzi gromadzenia danych, zgodnych z zasadami triangulacji metodologicznej, co miało na celu zapewnienie zarówno pogłębionej analizy, jak i wiarygodności wyników.

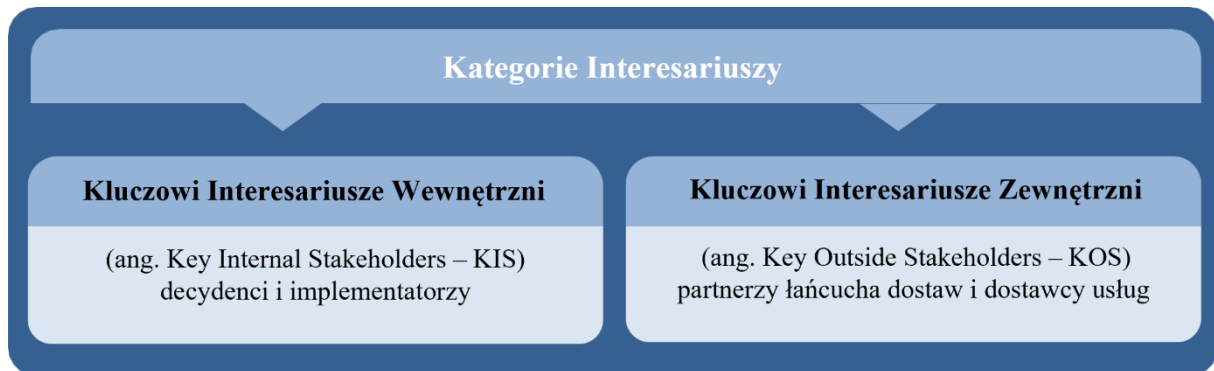
Pierwotne źródła danych obejmowały:

1. Dokumentację – dokumenty biznesowe, polityki zarządcze, materiały handlowe, dokumentację identyfikowalności, zapisy produkcyjne, dokumenty regulacyjne,
2. Ankiety – badanie wśród członków Rwanda Mining Association,
3. Literaturę – bazy naukowe, w tym Google Scholar, Web of Science, Scopus,
4. Obserwację – bezpośrednia obserwacja terenowa podczas wizyt w zakładzie i procesów operacyjnych,
5. Notatki – dokumentacja prowadzona w trakcie poszczególnych faz badawczych,
6. Wywiady indywidualne – wywiady pół-ustrukturyzowane z zestandaryzowanymi pytaniami otwartymi,
7. Grupy fokusowe – moderowane dyskusje z udziałem od 6 do 10 uczestników.

Zgromadzony zbiór danych łączył źródła zastane – takie jak materiały archiwalne i literatura – z danymi generowanymi w wyniku aktywnego zaangażowania interesariuszy poprzez ankiety, wywiady, obserwacje i grupy fokusowe. Dane te zostały następnie skategoryzowane jako dane eksperckie kontekstowe, dane analizy bezpośredniej oraz dane środowiskowe, co zapewniło szerokie i metodologicznie solidne spektrum perspektyw dotyczących integracji technologii blockchain i praktyk odpowiedzialnego pozyskiwania surowców.

W badaniach nad łańcuchami dostaw analiza interesariuszy stanowi kluczowe podejście umożliwiające identyfikację i kategoryzację grup, które wpływają lub podlegają wpływowi decyzji dotyczących procesów organizacyjnych, takich jak wdrażanie technologii blockchain. W przypadku Luna Smelter zarówno interesariusze wewnętrzni, jak i zewnętrzni odgrywają

istotną rolę w procesach adopcji, implementacji oraz ewaluacji systemów identyfikowalności opartych na metodzie blockchain. Dobór interesariuszy autorka oparła na ich rolach funkcjonalnych i wkładzie w rozwój identyfikowalności surowców, co odzwierciedla zróżnicowane perspektywy zarządcze, operacyjne i rynkowe.



Rysunek 3 – Kategorie interesariuszy Luna Smelter. Opracowanie własne.

Podział ten pozostaje w zgodzie z teorią interesariuszy Freemana, która rozróżnia między interesariuszami wewnętrznymi, odpowiedzialnymi za decyzje strategiczne i operacyjne, a interesariuszami zewnętrznymi, których współpraca jest niezbędna dla powodzenia inicjatyw w łańcuchu dostaw (*Teoria interesariuszy wczesnego Freemana – nie tylko etyka – Forum Odpowiedzialnego Biznesu*, b.d.)

Wybrani interesariusze reprezentują triangulację perspektyw:

- Ład i zarządzanie (Rada Nadzorcza, Zarząd, Dyrektor Finansowy) – dla oceny spójności strategicznej i procesów decyzyjnych,
- Wdrożenie operacyjne (Dział Identyfikowalności, Dyrektor Zarządzający) – dla zrozumienia wpływu adopcji metody blockchain na poziomie procesów,
- Zewnętrzni partnerzy łańcucha dostaw (dostawcy i klienci) – dla weryfikacji, czy metoda blockchain spełnia potrzeby w zakresie przejrzystości i zgodności regulacyjnej,
- Wsparcie techniczne (serwis i implementacja technologii DLT) – dla oceny integracji systemu oraz dynamiki wsparcia zewnętrznego.

Tak zdefiniowana różnorodność zapewnia, że wyniki badań obejmują pełne spektrum organizacyjnych, technicznych i regulacyjnych implikacji metody blockchain.

Fazy analityczne badania

Faza analityczna badania została oparta na wielometodowym podejściu jakościowym, zaprojektowanym w celu zapewnienia pogłębionej analizy, wiarygodności oraz spójności pomiędzy różnorodnymi źródłami danych. Kluczową rolę odegrały metody analizy tematycznej i analizy treści, ukierunkowane zarówno ramami koncepcyjnymi, jak i spostrzeżeniami empirycznymi.

Analiza tematyczna została zastosowana głównie do transkrypcji wywiadów oraz notatek terenowych. Wykorzystano strategię podwójnego kodowania: kody dedukcyjne ustalone a priori, oparte na Wytycznych OECD oraz kody indukcyjne, wyłaniające się organicznie z badanego materiału. Połączenie obu podejść umożliwiło zakorzenienie analizy w normatywnych ramach zgodności, przy jednoczesnym uchwyceniu narracji i niuansów kontekstowych formułowanych przez interesariuszy.

Równolegle przeprowadzono analizę treści danych generowanych przez blockchain, pochodzących z platformy Minespider. Analiza ta koncentrowała się na ocenie struktury, jakości i integralności cyfrowych paszportów produktów, a także na ich zgodności z deklarowanymi celami ładu korporacyjnego i obowiązującymi standardami raportowania.

Całość procesu badawczego wspierała triangulacja metodologiczna, obejmująca porównanie i wzajemne weryfikowanie danych z wywiadów, źródeł dokumentacyjnych oraz obserwacji bezpośrednich. Zastosowanie tego podejścia zwiększyło wewnętrzną spójność i odporność analityczną uzyskanych wyników.

Integracja przemysłu i nauki

Cechą wyróżniającą niniejsze badanie jest ścisła integracja refleksji akademickiej z praktyką przemysłową, umożliwiona poprzez podwójną rolę autorki – zarówno jako badaczki, jak i praktyka w obszarze odpowiedzialnego pozyskiwania surowców oraz identyfikowalności minerałów. Taka pozycja badawcza zapewniła wyjątkową perspektywę analityczną – możliwość generowania wniosków empirycznych z wnętrza procesów wdrażania technologii blockchain, a nie jedynie z pozycji zewnętrznego, zdystansowanego obserwatora.

Ugruntowane relacje zawodowe autorki w ramach łańcucha dostaw minerałów 3T – w szczególności w Regionie Wielkich Jezior Afrykańskich – umożliwiły dostęp do wrażliwych

danych instytucjonalnych, obserwacji działań terenowych w czasie rzeczywistym oraz procesów decyzyjnych podejmowanych przez interesariuszy. Te powiązania otworzyły przestrzeń dla głębokiego zaangażowania badawczego, które w warunkach klasycznego dostępu akademickiego pozostałoby niedostępne.

Dzięki bezpośredniemu uczestnictwu w bieżących inicjatywach identyfikowalności – w tym w pilotażowym wdrożeniu metody blockchain w Luna Smelter – autorka mogła obserwować i dokumentować procesy w momencie ich faktycznego przebiegu, rejestrując strategie adaptacyjne, napotykanne wyzwania oraz reakcje różnorodnych aktorów w łańcuchu dostaw. To osadzenie w praktyce umożliwiło przeprowadzenie analizy w czasie rzeczywistym oraz w ujęciu długofalowym ukazującej, w jaki sposób cyfrowe narzędzia identyfikowalności krzyżują się z praktykami zgodności regulacyjnej, lokalnymi ramami zarządczymi oraz międzynarodowymi standardami audytu.

Badanie czerpało ponadto z trwałej interakcji z interesariuszami funkcjonującymi na wielu poziomach łańcucha wartości minerałów – począwszy od górników i zakładów przetwórczych, poprzez stowarzyszenia branżowe i organy regulacyjne, aż po międzynarodowe organizacje pozarządowe. Te zaangażowania wzbogaciły projekt badawczy o perspektywy pierwszoosobowe, ujawniły napięcia i synergie występujące w sektorze, a zarazem zagwarantowały, że uzyskane wnioski są jednocześnie analitycznie rzetelne i osadzone w realiach operacyjnych.

Łącząc badania akademickie z doświadczeniem praktycznym, integracja ta nie tylko zwiększyła wiarygodność i bogactwo materiału empirycznego, lecz także wzmocniła wkład pracy zarówno w rozwój teorii, jak i w formułowanie rekomendacji o charakterze politycznym i przemysłowym.

Ograniczenia i uwarunkowania badawcze

Podobnie jak w przypadku wszystkich badań empirycznych opartych na metodologii jakościowej oraz studium przypadku, niniejsza praca doktorska uznaje istnienie szeregu nieodłącznych ograniczeń, które kształtują zakres oraz interpretację przedstawionych wyników. Ograniczenia te nie stanowią słabości metodologicznych ani przeoczeń, lecz są koniecznymi uwarunkowaniami kontekstowymi, które wyznaczają granice procesu produkcji wiedzy w ramach tej dysertacji.

Po pierwsze, badanie oparte zostało na projekcie pojedynczego studium przypadku, skoncentrowanego na Luna Smelter w Rwandzie. Takie podejście umożliwia dogłębną eksplorację kontekstu oraz bogate zaangażowanie empiryczne, lecz z natury rzeczy ogranicza możliwość bezpośredniego uogólniania wniosków na szersze populacje czy inne konteksty przemysłowe. Zamiast tego praca wnosi wartość poprzez uogólnienie analityczne, umożliwiającą transfer spostrzeżeń do innych środowisk na podstawie rozumowania teoretycznego oraz podobieństwa kontekstowego.

Drugą kwestią jest podwójna rola autorki — badaczki i praktyczki — która, choć zapewnia dostęp do danych niedostępnych w klasycznym układzie oraz perspektywę zaangażowanego obserwatora, generuje zarazem ryzyko stronniczości w interpretacji materiału i w interakcjach z uczestnikami badań.

Ponadto uzyskane wyniki są silnie zakotwiczone w specyficznym kontekście geograficznym, instytucjonalnym i regulacyjnym sektora minerałów 3T w Rwandzie, funkcjonującego w reżimie ewoluujących standardów międzynarodowych (Wytyczne OECD, protokoły RMAP). Okoliczność ta wzmacnia ich trafność dla środowisk pokonfliktowych i zasobowo ograniczonych, lecz zarazem ogranicza bezpośrednią transferowalność na rynki bardziej dojrzałe lub objęte odmiennym łańcem regulacyjnym.

Ograniczeniem pozostaje fakt, że analiza obejmuje fazę wczesnej implementacji rozwiązań identyfikowalności opartych na technologii blockchain. Tym samym skutki odroczone, adaptacje instytucjonalne oraz procesy dojrzewania praktyk cyfrowego zarządzania mogą wykraczać poza ramy czasowe badania.

W celu zminimalizowania powyższych ograniczeń autorka zastosowała zestaw strategii kompensacyjnych obejmujących:

- szeroko zakrojony proces walidacji interesariuszy realizowany w wielu fazach badania,
- triangulację metodologiczną (interview, dokumentacja, obserwacje, dane cyfrowe),
- konsultacje eksperckie pochodzące z szerokiego spektrum środowisk zawodowych i geograficznych,
- utrzymanie transparentnego i systematycznego procesu dokumentacyjnego, obejmującego protokoły manualnego kodowania, ścieżki audytowe oraz refleksyjne notatki badawcze.

Łącznie działania te zwiększyły wiarygodność, rzetelność i przejrzystość analityczną projektu, zapewniając, iż ograniczenia zostały jasno rozpoznane i odpowiedzialnie zaadresowane.

Zgodnie z zasadami doktoratu wdrożeniowego badanie przyniosło rezultaty praktyczne w działalności organizacji studium przypadku, przy równoczesnym zachowaniu rygoru akademickiego. Dysertacja została zaprojektowana w taki sposób, aby rozwiązywać realny problem praktyczny, równoważąc rozwój teoretyczny z implementacją biznesową, a tym samym dostarczając wartości różnorodnym interesariuszom – partnerom przemysłowym, regulatorom oraz środowisku akademickiemu.

Zastosowane ramy metodologiczne umożliwiły przeprowadzenie kompleksowej analizy wdrożenia metody blockchain w odpowiedzialnych łańcuchach dostaw surowców, łącząc rygor akademicki z wysoką relewancją praktyczną. Wieloetapowe i wielostronne podejście zapewniło solidną podstawę empiryczną do weryfikacji hipotez badawczych, wnosząc istotny wkład zarówno w rozwój wiedzy teoretycznej, jak i praktyki gospodarczej.

6. WYNIKI EMPIRYCZNE

Wprowadzenie do ram empirycznych badania

Rozdział piąty dysertacji stanowi fundament empiryczny rozprawy, prezentując kompleksową walidację hipotez badawczych (H1–H4) poprzez integrację badań terenowych, wywiadów eksperckich oraz procesów walidacji interesariuszy.

Wyniki analizy i walidacji eksperckiej

Pierwsza faza badań obejmowała 26 pogłębionych wywiadów przeprowadzonych wśród czterech grup eksperckich:

- twórców technologii rozproszonych rejestrów,
- praktyków branżowych,
- przedstawicieli instytucji rządowych,
- środowiska akademickiego oraz ekspertów ds. standardów i regulacji dotyczących odpowiedzialnego pozyskiwania surowców.

Eksperci potwierdzili adekwatność i strukturę przyjętego projektu badawczego, a także sformułowali szczegółowe uwagi służące doprecyzowaniu hipotez. Transkrypcje wywiadów zostały poddane analizie tematycznej i zakodowane według kategorii kontekstowych, zasadniczych oraz skoncentrowanych na interesariuszach. Przedstawione poniżej rezultaty stanowią syntezę wniosków uzyskanych w ramach walidacji oraz pogłębionej oceny dokonanej przez ekspertów. Analiza umożliwiła identyfikację zasadniczych wyzwań, różnic percepcyjnych, czynników sprzyjających wdrożeniu technologii oraz implikacji kosztowych.

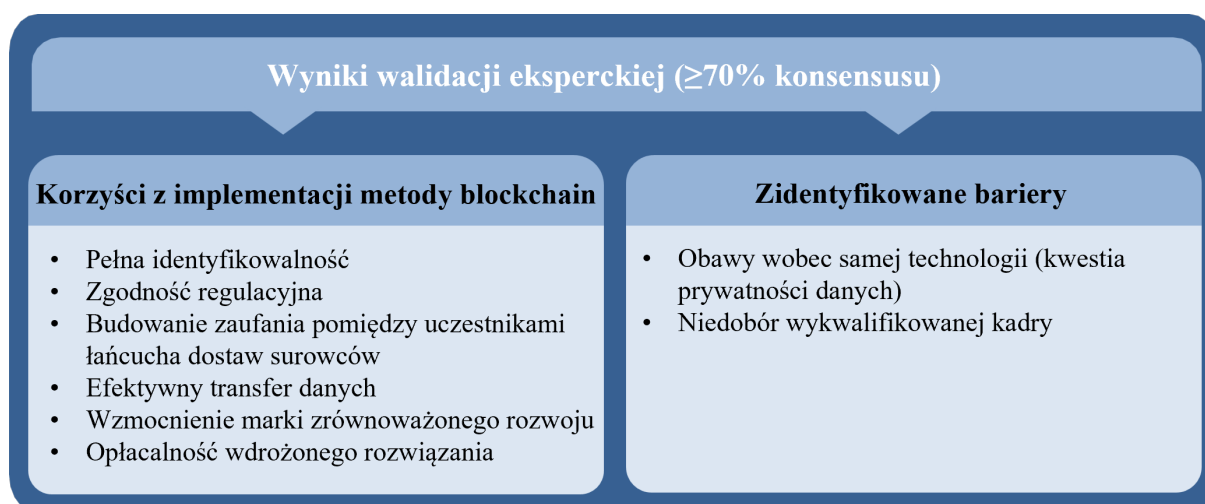
Kluczowe wyzwania w zakresie raportowania – analiza wskazała trzy zasadnicze bariery ograniczające efektywność raportowania identyfikowalności surowców. Po pierwsze, *nadmierne obciążenie audytowe*, które zostało jednomyślnie wskazane przez wszystkich praktyków branżowych (100%), zdecydowaną większość ekspertów blockchain oraz naukowców (85,71%) oraz przez 1/3 przedstawicieli instytucji rządowych (33,33%). Po drugie, *trudności w pozyskiwaniu właściwych danych źródłowych*, które zostały podkreślone przez wszystkich reprezentantów sektora rządowego, branżowego i akademickiego, a także przez większość ekspertów blockchain (85,71%). Trzecim wyzwaniem okazała się *konieczność ręcznego śledzenia przepływów danych i procesów*, uznana za szczególnie problematyczną przez 71,43% ekspertów blockchain oraz przez 66,67% praktyków branżowych i przedstawicieli administracji publicznej.

Różnice w percepcji metody blockchain – percepcja potencjału i ograniczeń metody blockchain różniła się istotnie między grupami respondentów. Praktycy branżowi dostrzegali poprawę przejrzystości procesów, lecz jednocześnie akcentowali ograniczone zaufanie do interesariuszy i jakość danych wejściowych. Eksperti akademicy skupiali uwagę na *wiarygodności danych* oraz *braku wystarczającego egzekwowania regulacji*, podkreślając, że wadliwe dane wejściowe mogą w istocie podważyć skuteczność rozwiązań technologicznych. Specjaliści z obszaru blockchain akcentowali *niezmiennność zapisów* oraz *wzmocnioną identyfikowalność*, wskazując przy tym trudności w dostosowaniu rozwiązań do wymogów złożonego ładu regulacyjnego. Z kolei przedstawiciele administracji publicznej uwypuklali bariery w zakresie *wymiany danych* oraz *interoperacyjności systemów* w kontekście krajowych ram regulacyjnych.

Kluczowe czynniki sprzyjające wdrożeniu metody blockchain – wśród czynników ułatwiających implementację metody blockchain, absolutnym priorytetem – potwierdzonym jednomyślnie we wszystkich grupach – okazała się *zgodność regulacyjna*. Istotnym elementem

wskazywanym przede wszystkim przez ekspertów blockchain (100%) było również *budowanie wizerunku zrównoważonego rozwoju* (ang. sustainability branding), którego znaczenie oceniano słabiej w pozostałych grupach. Dodatkowo, eksperci blockchain silnie akcentowali także *efekt pierwszeństwa* (ang. first mover advantage), który uznało za istotny 71,43% tej grupy respondentów.

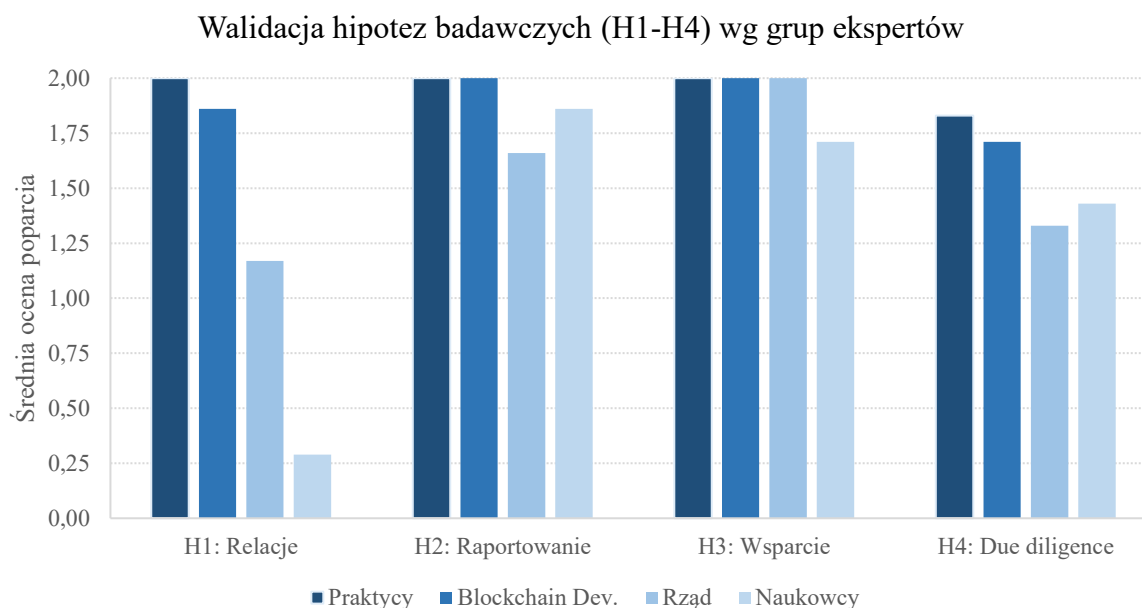
Analiza kosztowa – w obszarze kosztów dominowała percepcja *redukcji wydatków operacyjnych*, uznanej za powszechną korzyść (100% wśród praktyków branżowych, ekspertów rządowych i blockchain oraz 85,71% badaczy akademickich). Jednocześnie istotnym problemem pozostawała *dystrybucja kosztów*, wskazywana jako wyzwanie szczególnie przez 42,86% ekspertów akademickich. Opinie dotyczące *premi ESG* były bardziej zróżnicowane, a respondenci różnili się w ocenie ich długofalowego znaczenia.



Rysunek 4 – Korzyści i bariery dot. implementacji metody blockchain, wyniki walidacji eksperckiej. Opracowanie własne.

Uzyskana asymetria wskazuje, iż podczas gdy korzyści płynące z implementacji metody blockchain zostały stosunkowo dobrze zdefiniowane i szeroko rozpoznane wśród interesariuszy, to bariery pozostają w mniejszym stopniu uchwycone w dyskursie eksperckim. Może to sugerować, że w obecnym etapie rozwoju technologii przewaga narracji o potencjale przeważa nad pogłębioną refleksją nad ryzykiem i ograniczeniami wdrożeniowymi.

Odpowiedzi ekspertów w ramach walidacji hipotez badawczych (H1–H4) zostały zarejestrowane przy użyciu skali Likerta, obejmującej zakres od –2 (zdecydowanie nie) do +2 (zdecydowanie tak). Wyniki przedstawiono na rysunku nr 5.



Rysunek 5– Walidacja hipotez badawczych wśród ekspertów pierwszej fazy badania. Opracowanie własne.

Przeprowadzona walidacja pozwoliła na zróżnicowaną ocenę czterech hipotez badawczych:

H1 – metoda blockchain wzmacnia relacje z interesariuszami. Silne poparcie wyrazili praktycy branżowi (średnia 2,0; 100% zgodności) oraz deweloperzy technologii (1,86; 100%), co wskazuje na wysokie zaufanie tych grup do potencjału metody blockchain w zakresie budowania współpracy i ograniczania ryzyka pozyskiwania surowców z obszarów CAHRA. Znacznie niższe wartości odnotowano wśród ekspertów rządowych (1,17; 67%) oraz naukowców (0,29; 57%), co sugeruje ostrożność i zastrzeżenia wobec nadmiernej transparentności i trudności w dzieleniu się danymi.

H2 – poprawa wiarygodności raportowania i zgodności regulacyjnej. Hipoteza ta uzyskała niemal jednogłośnie potwierdzenie: blockchain deweloperzy (2,0; 100%) i naukowcy (1,86; 100%) ocenili ją najwyżej, a także praktycy (100%). Jedynie eksperci rządowi wyrazili umiarkowanie niższe poparcie (83%). Wyniki te wskazują na szeroką zgodność co do tego, że metoda blockchain może podnieść wiarygodność raportowania i wspierać zgodność z ramami prawnymi (OECD, Dodd-Frank, UE).

H3 – potrzeba wsparcia zewnętrznego dla skutecznej implementacji. Wystąpiła pełna zgoda w trzech grupach (deweloperzy, praktycy, rząd – 100%; średnia 2,0). Naukowcy wskazali wysoki, choć nieco niższy poziom akceptacji (1,71; 86%). Wyniki potwierdzają, że

alokacja zasobów, szkolenia i wsparcie techniczne są warunkiem skutecznej adaptacji metody blockchain.

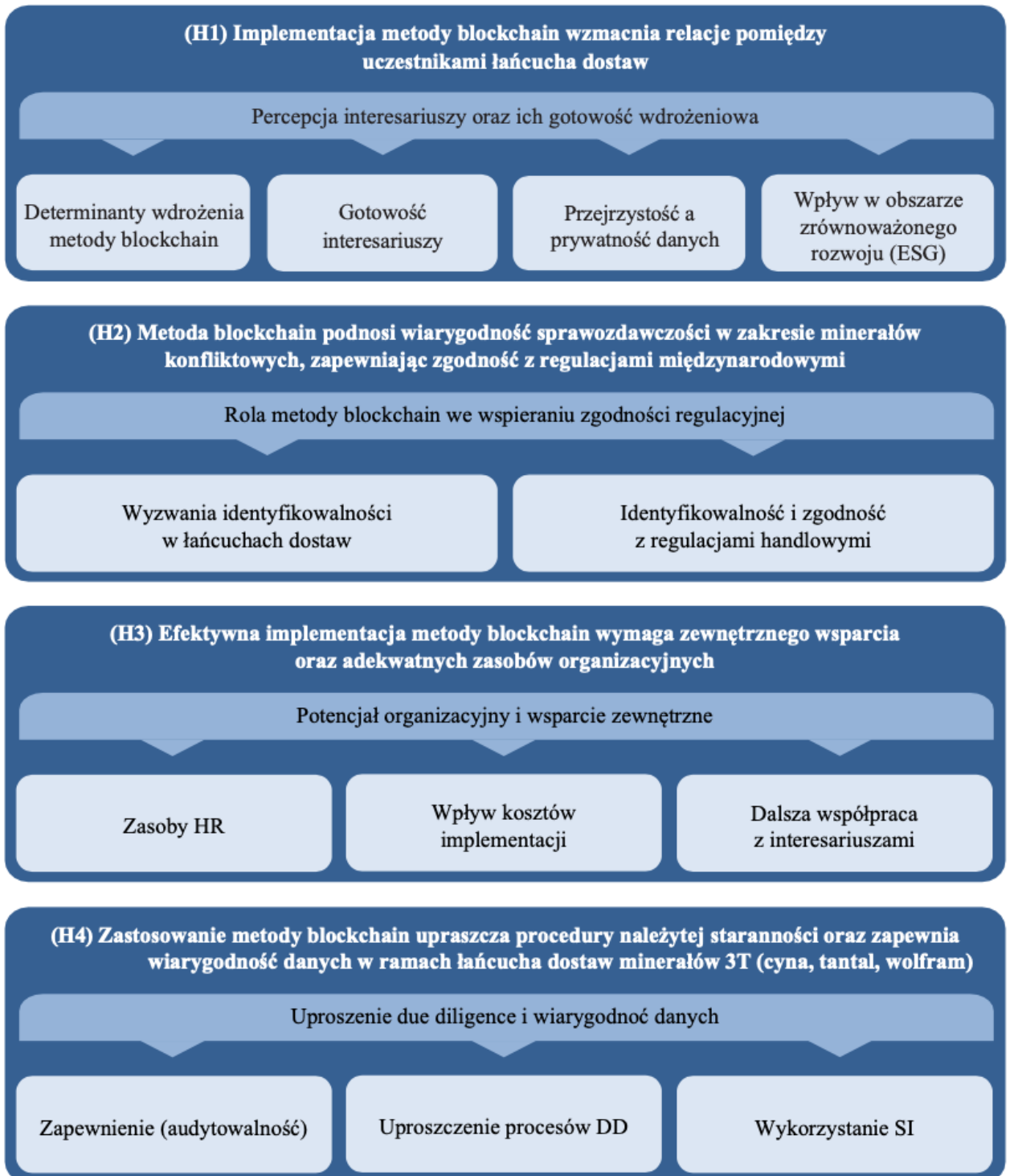
H4 – uproszczenie procesu due diligence i wzrost wiarygodności danych. Hipoteza ta uzyskała wysokie poparcie ze strony praktyków (1,83; 100%) i twórców technologii (1,71; 100%), natomiast umiarkowane u ekspertów rządowych (1,33; 67%) i akademickich (1,43; 86%). Wyniki wskazują, że metoda blockchain może uprościć procedury należytej staranności i zwiększyć jakość danych, choć barierą może być obciążenie administracyjne i potrzeby kompetencyjne.

Dodatkowo eksperci wskazali, że mechanizmy skalowania technologii powinny opierać się przede wszystkim na podejściu wielostronnym (66,07%), presji regulacyjnej (60,87%) oraz programach edukacyjnych (46,93%). Z kolei integracja blockchain z AI oceniana była jako kluczowa dla osiągnięcia *oszczędności czasu i redukcji kosztów* (76,69%), *kontroli jakości danych* (73,64%) oraz *usprawnienia ich pozyskiwania i strukturyzacji* (70,74%).

Wyniki walidacji potwierdzają szerokie poparcie dla hipotez H2 i H3 oraz silne, choć zróżnicowane między grupami, poparcie dla H1 i H4. Praktycy i twórcy technologii konsekwentnie wyrażali najwyższe wskaźniki zgodności (bliskie 100%), podczas gdy eksperci rządowi i akademicy wykazywali większą ostrożność, szczególnie w odniesieniu do kwestii zaufania i relacyjnych aspektów metody blockchain. Jednocześnie wnioski uzupełniające podkreślają wagę czynników instytucjonalnych (regulacje, edukacja) oraz potencjału integracji z AI jako elementów niezbędnych do pełnego wykorzystania możliwości metody.

Wyniki studium przypadku Luna Smelter

Na podstawie walidacji eksperckiej, wyodrębniono zestaw zasadniczych pytań badawczych, które przyporządkowano do czterech głównych obszarów badawczych. Każdy z nich odpowiadał jednej z czterech hipotez badawczych (H1–H4), stanowiących fundament empirycznej części rozprawy (Rysunek 6). Opinie ekspertów umożliwiły precyzyjne ukierunkowanie studium przypadku, tak aby każda z hipotez została poddana pogłębionej analizie i empirycznej weryfikacji w dedykowanym obszarze badawczym.



Rysunek 6 – Postawione hipotezy i ich ścieżki weryfikacji. Opracowanie własne.

H1: Implementacja metody blockchain jako czynnik wzmacniający relacje z interesariuszami w łańcuchu dostaw

Walidacja empiryczna potwierdziła, że metoda blockchain sprzyja budowaniu zaufania poprzez tworzenie niezmiennych zapisów danych oraz zwiększanie przejrzystości procesów. Wdrożenie przez Luna Smelter systemu cyfrowych paszportów produktowych, opracowanego przez Minespider, umożliwiło wielopoziomą identyfikowalność w czasie rzeczywistym, ułatwiając komunikację pomiędzy kopalniami na poziomie upstream (włączając sektor ASM) a odbiorcami końcowymi.

Uwagi ekspertów	Empiryczna weryfikacja w Luna Smelter Ltd.	Porównanie	Wnioski
Opór przed wdrożeniem nowej technologii	100% akceptacji rozwiązania w grupie respondentów KIS. 100% akceptacji w grupie respondentów KOS, przy częściowej implementacji na poziomie upstream oraz pełnej implementacji na poziomie downstream (Tier 1 i Tier 2, październik 2024). Docelowa implementacja przewidziana jest na poziomie Tier3. Rozwiązanie zostało również zaadaptowane przez innych interesariuszy 3T zgodnych z RMAP w regionie AGLR i jest wspólnie promowane przez Luna oraz jej interesariuszy.	Brak zbieżności	Technologia blockchain uzyskała akceptację interesariuszy Luna, a proces jej implementacji jest obecnie realizowany.
Wiarygodność wynikająca z przejrzystości danych	Potwierdzone przez respondentów z grup KIS i KOS: zaufanie zostało zbudowane dzięki następującym czynnikom: <ul style="list-style-type: none"> właściwościom technologicznym wdrożonego rozwiązania, takim jak niezamienialne rejestry transakcji, odpowiedzialność oraz warstwy ochrony prywatności danych, gotowości zespołu ds. należytej staranności (ang. DD Team) w Luna do prawidłowego wdrożenia rozwiązania oraz weryfikacji danych w systemach zgodnych ze standardem RMAP, zapewnieniu dostępu do danych wszystkim interesariuszom uczestniczącym w łańcuchu dostaw. 	Zbieżność	Aspekty technologiczne rozwiązania, wspierane działaniami realizowanymi przez doświadczony i przeszkolony zespół ds. należytej staranności (DD Team) w Luna, zweryfikowany w ramach ocen RMAP, zapewniają dokładność i przejrzystość danych.
Dynamika relacji interesariuszy w łańcuchu dostaw cyny w Luna	Luna KIS – usprawnienie procesów wewnętrznych w organizacji. Luna – interesariusze upstream – potwierdzona pozytywna poprawa komunikacji, gotowości danych oraz zwiększonego dostępu do surowca kierowanego do huty. Luna – interesariusze downstream – potwierdzona pozytywna poprawa komunikacji, dostępu do rynków zbytu i rynków premium oraz dostępu do finansowania.	Zbieżność	Dynamika relacji uległa poprawie na każdym etapie łańcucha dostaw.

Tabela 3 – Walidacja opinii ekspertów wobec H1. Opracowanie własne.

H2: Metoda blockchain zwiększa wiarygodność raportowania i wspiera zgodność regulacyjną

Wyniki badań wykazały wysoki poziom zgodności wśród interesariuszy co do tego, iż metoda blockchain istotnie poprawia jakość raportowania w zakresie minerałów konfliktowych oraz wzmacnia zgodność z wymogami regulacyjnymi (ustawa Dodd-Frank, rozporządzenie UE 2017/821, Wytyczne OECD). Zastosowanie ścieżek audytowych, inteligentnych kontraktów (ang. smart contracts) oraz mechanizmów weryfikacji ułatwiło proces raportowania zgodności regulacyjnej i znacząco obniżyło jego koszty.

Uwagi ekspertów	Empiryczna weryfikacja w Luna Smelter Ltd.	Porównanie	Wnioski
Gwarantuje precyzję raportowania na potrzeby zgodności regulacyjnej	Polityka łańcucha dostaw Luna Smelter, Polityka należytej staranności (ang. Chain of Custody Policy), zestaw polityk ESG, coroczny Raport z Należytej Staranności (DD Report), coroczny Raport ESG oraz wymogi raportowania według standardów ISO obowiązujące w Luna Smelter.	Zbieżność	Wdrożone praktyki w Luna są odpowiednie, aby zapewnić dokładność raportowania regulacyjnego, a ich skuteczność jest weryfikowana i audytowana przez niezależną stronę trzecią.
Adekwatna równowaga przejrzystość – prywatność danych	Prywatność danych zapewniana poprzez trójwarstwowy system dostępu do danych oraz regulowany dostęp w ramach wdrożonej platformy Minespider.	Częściowo zbieżne	Potwierdzone przez interesariuszy upstream w grupie KOS, grupę KIS w Luna oraz częściowo przez interesariuszy downstream KOS. Na poziomie downstream występuje jednak pewien stopień niepewności lub sceptycyzmu wobec mechanizmów prywatności w metodzie blockchain, wynikający z braku doświadczenia w jej stosowaniu.
Gwarantuje przestrzeganie wymogów regulacyjnych	Zestaw polityk i procedur wewnętrznych wdrożonych w celu odpowiedzi na potrzeby klientów w kontekście obowiązujących regulacji i regulujących zakres danych umieszczonych w certyfikatach – digital product passport.	Zbieżność	Certyfikaty podmiotów oraz cyfrowe paszporty produktów są wystarczające do spełnienia wymogów sprawozdawczych określonych w kluczowych ramach regulacyjnych, zarówno dla odbiorców downstream, jak i dostawców upstream (wymogi ICGLR).

Tabela 4 – Walidacja opinii ekspertów wobec H2. Opracowanie własne.

H3: Wdrożenie metody blockchain wymaga wsparcia organizacyjnego

Zarówno wg ekspertów, jak i wg danych empirycznych pozyskanych w trakcie badań w Luna Smelter, niezbędnym jest zapewnienie odpowiednich zasobów organizacyjnych, szkoleń dla interesariuszy oraz integracji zewnętrznych podmiotów. Sukces metody blockchain nie ma charakteru samoistnego – jest uwarunkowany osadzeniem w strukturach instytucjonalnych, dostosowaniem prawnym oraz wsparciem technologicznym.

Uwagi ekspertów	Empiryczna weryfikacja w Luna Smelter Ltd.	Porównanie	Wnioski
Przygotowanie kadry i procesy szkoleniowe	Szczegóły wdrożonego szkolenia. Początkowy brak wiedzy i doświadczenia został przezwyciężony dzięki ukierunkowanym programom szkoleniowym, które umożliwiły ekspertom ds. należytej staranności w Luna osiągnięcie poziomu kompetencji pozwalającego na dalsze rozpowszechnianie wiedzy i technologii zarówno wewnątrz organizacji, jak i wśród kluczowych interesariuszy.	Zbieżność	Proces wdrożenia wymagał znaczących nakładów inwestycyjnych w obszarze szkoleń; został jednak przeprowadzony skutecznie i uzyskał szeroką akceptację wśród interesariuszy w całym łańcuchu dostaw Luna.
Zagwarantowanie odpowiedniego budżetu	Roczne budżety Luna oraz przegląd kosztów należytej staranności (DD). Wydatki związane z technologią DLT wykazywały tendencję wzrostową, pozostając jednak jedynie niewielką częścią całkowitych kosztów DD. Pomimo wyraźnego trendu wzrostowego, ich udział finansowy pozostaje ograniczony, osiągając maksymalnie 1,65% w roku 2024.	Zbieżność	Tradycyjne komponenty kosztowe – opłaty (ang. <i>Levy Fees</i>), wynagrodzenia oraz koszty związane ze zgodnością regulacyjną – nadal dominują w strukturze wydatków DD. Inwestycje w technologię blockchain, choć wykazują tendencję wzrostową, pozostają finansowo nieistotne w porównaniu z tymi głównymi czynnikami kosztowo-twórczymi.
Konieczność zapewnienia wsparcia dla dalszego rozszerzania skali wdrożeń w obrębie łańcucha dostaw	Szczegóły projektu Tin Link (EPRM), Funduszu Wsparcia Responsible Minerals Initiative. Przeгляд finansowania zastępczego.	Zbieżność	Uznając długoterminowy potencjał cyfrowych paszportów produktów, Luna z powodzeniem wdrożyła te rozwiązania na różnych poziomach swojego łańcucha dostaw, jednocześnie aktywnie promując działalność firmy w kluczowych organizacjach, takich jak EPRM czy RMI. Strategiczne podejście umożliwiło nie tylko pozyskanie znaczącego finansowania wspierającego implementację, lecz także stworzenie fundamentów dla przyszłych projektów i grantów. Podjęte działania mają szansę wywrzeć istotny wpływ na kształtowanie systemów identyfikowalności w regionie AGLR.

Tabela 5 – Walidacja opinii ekspertów wobec H3. Opracowanie własne.

H4: Metoda blockchain upraszcza proces należytej staranności i wzmacnia wiarygodność danych

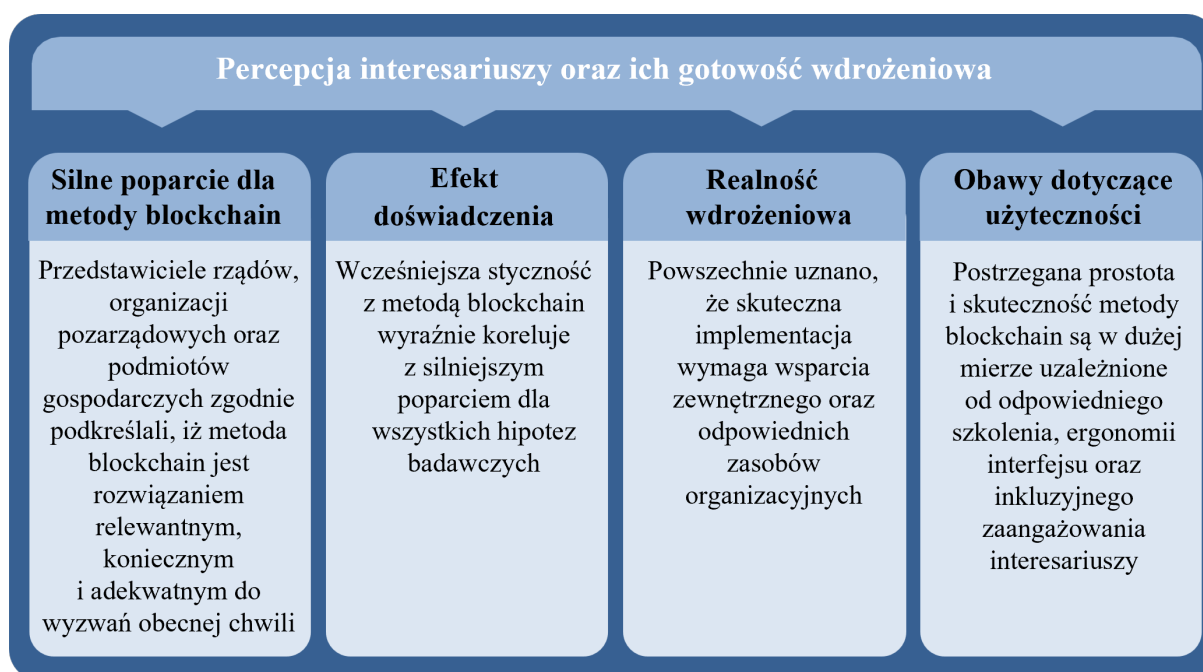
Walidacja hipotezy H4 potwierdziła transformacyjną rolę metody blockchain w digitalizacji dokumentacji zgodności, umożliwiającą wielopoziomową gotowość audytową oraz integrację walidacji opartych na sztucznej inteligencji (AI). Metoda blockchain zwiększa spójność danych, skraca czas przygotowania do audytów oraz usprawnia procesy odpowiedzi regulacyjnych.

Uwagi ekspertów	Empiryczna weryfikacja w Luna Smelter Ltd.	Porównanie	Wnioski
Niezbędne jest wykazanie wiarygodności danych	<p>Ustrukturyzowane zarządzanie należytą starannością.</p> <p>Weryfikacja zewnętrzna (RMAP) oraz porównywanie wyników.</p> <p>Procesy zgodne z normami ISO.</p> <p>Niezmienny rejestr (<i>ang. immutable track record</i>) wzmacniający wiarygodność dzięki strukturze blockchain.</p>	Częściowa zbieżność	<p>Wiarygodność jest zapewniana i niezależnie audytowana; funkcja należytej staranności (DD) w Luna jest wspierana przez jasno zdefiniowaną strukturę organizacyjną i hierarchiczną, co gwarantuje odpowiedzialność w zarządzaniu danymi. Dane są gromadzone w sposób ciągły z regionu i poddawane walidacji krzyżowej z informacjami dostarczonymi zarówno przez interesariuszy rządowych, jak i pozarządowych. Struktura platformy dodatkowo wzmacnia wiarygodność oraz zaufanie dzięki niezamienalnemu rejestrowi.</p>
Uproszczenie procesu należytej staranności dzięki wdrożeniu metody blockchain	<p>Dostęp do certyfikatów jednostki Luna oraz paszportów produktów</p> <p>Harmonogram przygotowań do audytów (czas / nakłady) i wyniki audytów RMAP.</p>	Zbieżność	<p>Centralizacja i strukturyzacja danych: Wszystkie informacje związane z należytą starannością są przechowywane w ustandaryzowanym formacie za pośrednictwem certyfikatów jednostki oraz cyfrowych paszportów produktów, co zapewnia spójność pomiędzy dostawcami i partiami surowca.</p> <p>Dostępność online: Istotne dane są udostępniane poprzez bezpieczny, oparty na kategoriach system dostępu, umożliwiający bieżący wgląd audytorom, klientom oraz regulatorom.</p> <p>Skrócenie czasu przygotowań do audytu: Dzięki temu, że rejestry identyfikowalności są już zweryfikowane i zapisane w blockchain, gotowość audytowa ma charakter ciągły, co znacząco skraca czas przygotowań.</p> <p>Zautomatyzowana ścieżka identyfikowalności: metoda blockchain eliminuje konieczność ręcznego gromadzenia dokumentacji, tworząc odporny na manipulacje cyfrowy zapis każdego etapu w łańcuchu dostaw.</p>
Potencjał wykorzystania sztucznej inteligencji w weryfikacji wiarygodności danych i procesach należytej staranności	<p>Potwierdzony przez grupy respondentów KIS i KOS w Luna.</p>	Zbieżność	<p>Wszyscy interesariusze zgodnie wskazują, że sztuczna inteligencja może zwiększyć wiarygodność danych oraz uprościć proces należytej staranności. Zespoły DD koncentrują się przede wszystkim na wykrywaniu błędów i automatyzacji procesów. Kadra zarządzająca nadaje priorytet weryfikacji danych oraz uzyskiwaniu strategicznych wniosków. Klienci i podmioty związane z technologią podkreślają znaczenie porównywania danych i kontroli ich wiarygodności, podczas gdy dostawcy akcentują pierwszeństwo automatyzacji procesów roboczych nad analizą danych.</p>

Tabela 6 – Walidacja opinii ekspertów wobec H4. Opracowanie własne.

Walidacja interesariuszy EPRM

Konsultacje przeprowadzone w ramach European Partnership for Responsible Minerals, obejmujące przedstawicieli łańcucha dostaw, agencje rządowe oraz organizacje społeczeństwa obywatelskiego, zapewniły solidną, wieloaspektową triangulację badawczą. Interesariusze posiadający wcześniejsze doświadczenie z metodą blockchain konsekwentnie raportowali wyższy poziom postrzeganych korzyści, zwłaszcza w zakresie budowania zaufania oraz zwiększenia efektywności procesów zgodności.



Rysunek 7 – Kluczowe ustalenia walidacji wśród członków EPRM. Opracowanie własne.

Czynniki krytyczne sukcesu wskazane przez członków EPRM obejmowały:

1. Współpracę wielostronną i podejście ko-kreacyjne,
2. Presję regulacyjną jako kluczowy impuls wdrożeniowy,
3. Edukację i budowanie kompetencji, szczególnie wśród interesariuszy działających w górnych partiach łańcucha dostaw,
4. Wsparcie finansowe oraz odpowiednie bodźce rynkowe,
5. Spójność polityki z krajowymi ramami regulacyjnymi.

Zintegrowane etapy walidacji dostarczyły solidnego wsparcia dla centralnej tezy badawczej, iż metoda blockchain może zagwarantować pełną kontrolę nad łańcuchem dostaw oraz identyfikowalność pochodzenia surowców, w zgodzie z analizowanymi regulacjami międzynarodowymi.

Podsumowanie badań empirycznych

Celem badań empirycznych był dwójaki: po pierwsze – weryfikacja wiarygodności hipotez H1–H4, a po drugie – ocena czy teza główna, zgodnie z którą metoda blockchain zapewnia identyfikowalność oraz zgodność regulacyjną w łańcuchach dostaw minerałów konfliktowych, może zostać potwierdzona na podstawie praktycznych dowodów oraz wielostronnej walidacji interesariuszy.

Wstępne wywiady eksperckie, przeprowadzone jeszcze przed właściwymi badaniami terenowymi, odegrały kluczową rolę w doprecyzowaniu projektu badawczego. Eksperti potwierdzili rosnące znaczenie metody blockchain w sektorze minerałów 3T, jednocześnie wskazując na istniejące luki w systemie zarządzania, bariery wdrożeniowe oraz wyzwania związane z przestrzeganiem wymogów regulacyjnych. Z analizy wypowiedzi wyłoniły się cztery główne wątki: strukturalna złożoność raportowania identyfikowalności, bodźce do wdrażania technologii, dynamika kosztowa oraz równowaga pomiędzy potencjalnymi korzyściami a systemowymi ograniczeniami. Wnioski te wpłynęły na kształt studium przypadku oraz proces walidacji EPRM, zapewniając ujęcie zarówno wykonalności operacyjnej, jak i instytucjonalnych oraz etycznych wymiarów wdrożenia metody blockchain.

Studium przypadku oparte na działalności Luna Smelter oraz proces walidacji EPRM jednoznacznie wskazują, że odpowiednio zaimplementowana metoda blockchain stanowi efektywną, zgodną z regulacjami infrastrukturę identyfikowalności. Wyniki badań potwierdzają wszystkie cztery hipotezy badawcze oraz w znacznym stopniu wzmacniają tezę główną, akcentując jednocześnie konieczność dalszej weryfikacji teoretycznej w celu zapewnienia pełnej możliwości generalizacji wyników.

H1 zakładała, że metoda blockchain wzmacnia relacje w łańcuchu dostaw. Dowody z Luna potwierdzają tę tezę: cyfrowe paszporty produktów wdrożone na platformie Minespider wspierały przejrzystość i zaufanie u klientów typu Tier 1 i 2, a ich stosowanie zostało włączone do kontraktów handlowych. Ta architektura relacyjna umożliwiła wiarygodne przepływy danych wielopoziomowych, spójne raportowanie oraz współdzieloną odpowiedzialność. Walidacja EPRM potwierdziła te ustalenia, szczególnie wśród interesariuszy z wcześniejszym doświadczeniem w ramach badanej technologii, którzy uznali współpracę opartą na zaufaniu za fundament wiarygodnego raportowania.

Według **H2** metoda blockchain podnosi wiarygodność raportowania w obszarze minerałów konfliktowych i zapewnia zgodność z ramami regulacyjnymi (Wytyczne OECD, Dodd-Frank Act, Rozporządzenie UE 2017/821). W Luna dane obejmujące pochodzenie, dostawców, rejestry produkcji oraz wskaźniki ESG – były digitalizowane w formie certyfikatów podmiotowych i produktowych, przygotowanych do audytów i zabezpieczonych przed manipulacją. Struktura danych spełniała zarówno wymogi unijne dotyczące etapu upstream, jak i amerykańskie zobowiązania dotyczące ujawniania informacji w downstream. Interesariusze EPRM potwierdzili te ustalenia, wykazując niemal jednogłośnie co do podniesienia wiarygodności raportowania dzięki zastosowaniu metody blockchain.

H3 dotyczyła konieczności zapewnienia zasobów instytucjonalnych i wsparcia zewnętrznego. W Luna Smelter adopcja metody blockchain była wspierana przez systematyczne szkolenia – do roku 2024 zrealizowano ponad 400 godzin szkoleń (możliwe dzięki programom takim jak Tin Link, Fundusz RMI i inne). Wzrost kosztów, choć zauważalny, pozostał marginalny (1,65% całkowitych wydatków na DD), a współfinansowanie zewnętrzne zapewniło skalowalność bez nadmiernego obciążania partnerów downstream. Respondenci EPRM potwierdzili, że sukces wdrożenia metody blockchain zależy od edukacji, spójności polityk, wsparcia finansowego oraz odpowiedniej infrastruktury.

H4 zakładała, że metoda blockchain upraszcza proces należytej staranności i podnosi wiarygodność danych. W Luna integracja certyfikatów podmiotowych i paszportów produktowych usprawniła przygotowanie do audytów, skonsolidowała różnorodną dokumentację i poprawiła koordynację wewnętrzną. Niezależna weryfikacja – prowadzona w ramach audytów RMAP, zgodnie ze standardami ISO oraz nadzorem RMGB, ICGLR i organizacji społeczeństwa obywatelskiego – zapewniała integralność danych w momencie ich wprowadzania. Walidacja EPRM potwierdziła rolę metody blockchain w redukcji obciążeń administracyjnych i zwiększeniu audytowalności, choć podkreślono ryzyko cyfrowego wykluczenia podmiotów typu upstream. Dodatkowe możliwości oferują synergie z rozwiązaniami opartymi na sztucznej inteligencji (AI), wspierające automatyzację i weryfikację danych.

Końcowa faza badań obejmowała analizę literatury w celu osadzenia wyników empirycznych w szerszym dyskursie akademickim. Wyniki potwierdziły, że metoda blockchain może wzmacniać zaufanie i relacje interesariuszy (H1), pełni funkcję infrastruktury zgodności regulacyjnej (H2), a jej skuteczna adopcja zależy od instytucjonalnych i finansowych

warunków wdrożenia (H3). Ponadto literatura i studium przypadku Luna Smelter wykazały, iż metoda blockchain – przy odpowiednim osadzeniu w architekturze zarządzania i weryfikacji – wspiera i transformuje procesy należytej staranności, stając się infrastrukturą zgodności regulacyjnej (H4).

Łącznie wyniki badań potwierdzają wszystkie cztery hipotezy i jednoznacznie wspierają tezę główną: metoda blockchain nie jest jedynie narzędziem technologicznym, lecz stanowi infrastrukturę umożliwiającą zgodność regulacyjną. Studium przypadku Luna Smelter stanowi empiryczne potwierdzenie tej tezy, zaś walidacja EPRM dowodzi jej znaczenia sektorowego i potencjalnej replikowalności. Choć szersza generalizacja wymaga dalszej weryfikacji teoretycznej, w ramach przyjętej perspektywy badawczej metoda blockchain jawi się jako instrument operacjonalizacji bezpiecznego, przejrzystego i zgodnego regulacyjnie zarządzania łańcuchami dostaw w kontekstach wysokiego ryzyka.

7. WNIOSKI KOŃCOWE I WKŁAD TEORETYCZNY

Ramy Konceptyjne i Walidacja Tezy

Niniejsza rozprawa doktorska ustanawia metodę blockchain jako innowację metodologiczną, która wykracza poza tradycyjne zastosowania narzędzi cyfrowych. Funkcjonuje ona jako ramy socjotechniczne, integrujące niezmienną architekturę danych z regulacyjnymi i instytucjonalnymi strukturami zarządzania. Przeprowadzone badania dowodzą, iż metoda ta stanowi dźwignię transformacji etycznej oraz doskonałości operacyjnej w reżimach odpowiedzialnego pozyskiwania surowców, w szczególności w obszarach dotkniętych konfliktami i wysokiego ryzyka.

Rozprawa wypełnia lukę w badaniach nad zarządzaniem łańcuchami dostaw, oferując empirycznie zweryfikowane ramy implementacji technologii cyfrowej identyfikowalności w sektorze wydobywczym funkcjonującym w regionach wysokiego ryzyka. Teza główna – iż metoda blockchain zapewnia transparentność, niezmienną identyfikowalność oraz zgodność regulacyjną w łańcuchach dostaw minerałów konfliktowych – uzyskała kompleksową walidację poprzez wielowarstwowe badania empiryczne, obejmujące:

- walidacje eksperckie,

- obserwacje terenowe w Luna Smelter,
- weryfikację krzyżową w grupie ekspertów European Partnership for Responsible Minerals (EPRM),
- oraz syntezę z istniejącym dorobkiem literatury naukowej.

Studium przypadku Luna Smelter dowodzi, że metoda blockchain okazuje się nie tylko technicznie wykonalna, lecz także zgodna regulacyjnie, zorientowana na interesariuszy i posiadająca legitymizację społeczną. Badania sytuują metodę blockchain nie jako izolowane narzędzie cyfrowe, lecz jako mechanizm zarządzania socjotechnicznego, umożliwiający tworzenie przejrzystych, skalowalnych i inkluzywnych systemów należytej staranności w środowiskach wysokiego ryzyka.

Zbiorcza walidacja hipotez badawczych jednoznacznie ustanawia, że metoda blockchain pełni funkcję infrastruktury umożliwiającej zgodność regulacyjną. Jej rola obejmuje zarówno budowanie zaufania relacyjnego i przygotowanie organizacyjne, jak i harmonizację regulacyjną oraz optymalizację efektywności operacyjnej.

Wkład w Naukę o Zarządzaniu i Jakości

Niniejsze badania wnoszą istotny wkład w teorię zarządzania strategicznego poprzez rekonceptualizację cyfrowych ram odpowiedzialności w globalnych łańcuchach wartości funkcjonujących w warunkach podwyższonego ryzyka. Autorka dowodzi, iż metoda blockchain umożliwia tworzenie współzarządzanych, audytowalnych infrastruktur danych, stanowiących solidny model substytucji instytucjonalnej poprzez interwencję technologiczną.

Kluczowy wkład teoretyczny:

1. Rozwój infrastruktury algorytmicznego zaufania - badania ustanawiają metodę blockchain jako infrastrukturę, która w samą architekturę systemu wbudowuje zgodność regulacyjną, weryfikację oraz potwierdzanie pochodzenia surowców.
2. Ramy logiki instytucjonalnej – autorka sytuuje metodę blockchain jako logikę instytucjonalną, generującą nowe normy, rutyny i oczekiwania organizacyjne. Innowacyjne systemy identyfikowalności oparte na kontraktach inteligentnych kodują międzynarodowe ramy regulacyjne (pięciostopniowy proces należytej staranności OECD) w zautomatyzowane, codzienne procedury operacyjne, skutecznie

przekształcając abstrakcyjne normy globalnego ładu w zweryfikowane rutyny zgodności.

3. Wzbogacenie teorii globalnych łańcuchów dostaw- badania kwestionują tradycyjne założenie, iż mechanizmy rządzące łańcuchami dostaw mają charakter jednokierunkowy i dominują je podmioty downstream. Wyniki empiryczne dowodzą, że aktorzy midstream mogą stać się nowymi węzłami ładu, weryfikując praktyki pozyskiwania upstream i pośrednicząc w ujawnianiu danych dla partnerów downstream.

Implikacje naukowe, geopolityczne i rozwojowe

Wnosząc istotny wkład teoretyczny, badania rekonceptualizując metodę blockchain jako infrastrukturę sprzyjającą budowaniu pokoju. Dzięki tworzeniu współdzielonych, niezmiennych rejestrów pochodzenia surowców, metoda blockchain może przyczyniać się do:

- łagodzenia napięć geopolitycznych związanych z kontrolą zasobów,
- umożliwienia transgranicznych mechanizmów weryfikacji,
- ograniczenia praktyk oszustw i nadużyć,
- otwierania dróg do kooperacyjnych form zarządzania w regionach postkonfliktowych.

To teoretyczne rozwinięcie poszerza dotychczasowy dorobek badań nad konfliktami surowcowymi, ukazując, że identyfikowalność danych staje się mechanizmem budowania pokoju w obszarach historycznie dotkniętych konfliktami. Przekształcenie danych z instrumentu kontroli w instrument zaufania stanowi przełomowy paradygmat w sposobie myślenia o zarządzaniu zasobami w kontekstach państw słabych i niestabilnych.

Rekomendowane kierunki dalszych badań

Badanie wskazuje pięć priorytetowych obszarów dla przyszłych dociekań naukowych:

1. Rozwój studiów porównawczych – wielośrodkowe analizy obejmujące producentów midstream minerałów 3T w Regionie Wielkich Jezior Afrykańskich, w celu oceny skalowalności rozwiązań blockchain i potencjału wdrożeniowego w skali sektorowej.
2. Badania zastosowań międzysurowcowych – weryfikacja adaptowalności blockchain do wyzwań ESG w łańcuchach dostaw metali niezbędnych do produkcji baterii, zwłaszcza w kontekstach pozyskiwania litu i kobaltu.

3. Interoperacyjność i standaryzacja – analiza możliwości harmonizacji między ramami OECD, regulacjami UE a pojawiającymi się normami ISO dotyczącymi blockchain w identyfikowalności łańcuchów dostaw.
4. Inkluzywność cyfrowa – badanie udziału interesariuszy z sektora upstream w architekturach identyfikowalności opartych na blockchain oraz projektowanie struktur bodźców sprzyjających oddolnej zgodności.
5. Modele redukcji konfliktów wspierane przez blockchain – ocena wpływu infrastruktury zaufania na dynamikę makropolityczną i negocjacje transgraniczne w regionach CAHRAs.

Niniejsza rozprawa dowodzi, że metoda blockchain, konceptualizowana ponad samą architekturą technologiczną i osadzona w ramach etycznych, prawnych i instytucjonalnych, stanowi przełom metodologiczny w zarządzaniu łańcuchami dostaw surowców mineralnych. Dzięki rygorystycznej walidacji empirycznej, wspartej szeroką ewaluacją interesariuszy, praca przedstawia skalowalny model budowy zaufania cyfrowego w regionach wysokiego ryzyka.

Wyniki badań wywierają wpływ zarówno na dyskurs akademicki, jak i na polityki strategiczne w obszarach ram ESG, regulacji etycznego pozyskiwania i ekonomiki pokoju. W etycznym wdrożeniu metoda blockchain przekracza ramy narzędzia IT i staje się platformą współzarządzania, zdolną do przebudowy systemów bodźców, równoważenia asymetrii władzy i pełnienia roli instytucjonalnych mostów prowadzących ku przejrzystości, równości i zrównoważonemu rozwojowi w regionach, gdzie aspiracje te były historycznie odsuwane w czasie.

Zarówno wkład teoretyczny, jak i implikacje praktyczne sytuują metodę blockchain jako mechanizm zarządczy, a nie jedynie rozwiązanie technologiczne, tworząc fundamenty zrozumienia, w jaki sposób nowe technologie cyfrowe mogą służyć celom rozwojowym i pokojowym w obszarach dotkniętych konfliktami. Praca dostarcza kluczowych dowodów empirycznych na rzecz ewolucji ładu odpowiedzialnego pozyskiwania surowców oraz ustanawia ramy dla dalszych innowacji technologicznych, promujących etyczne zarządzanie łańcuchami dostaw w realiach współczesnej gospodarki globalnej.

8. SPIS TABEL

Tabela 1 – Hipotezy badawcze, opracowanie własne

Tabela 2 – Struktura pracy doktorskiej

Tabela 3 – Walidacja opinii ekspertów wobec H1. Opracowanie własne.

Tabela 4 – Walidacja opinii ekspertów wobec H2. Opracowanie własne.

Tabela 5 – Walidacja opinii ekspertów wobec H3. Opracowanie własne.

Tabela 6 – Walidacja opinii ekspertów wobec H4. Opracowanie własne.

9. SPIS RYSUNKÓW

Rysunek 1 – Surowce o największym wpływie na technologie przyszłości wg MIT, Źródło: ITA – International Tin Association, [online:] <https://www.internationaltin.org/> (dostęp: 10.11.2022)

Rysunek 2 – Proces badawczy Autorki. Opracowanie własne.

Rysunek 3 – Kategorie interesariuszy Luna Smelter. Opracowanie własne.

Rysunek 4 – Korzyści i bariery dot. implementacji metody blockchain, wyniki walidacji eksperckiej. Opracowanie własne.

Rysunek 5 – Walidacja hipotez badawczych wśród ekspertów pierwszej fazy badania.

Opracowanie własne.

Rysunek 6 – Postawione hipotezy i ich ścieżki weryfikacji. Opracowanie własne.

Rysunek 7 – Kluczowe ustalenia walidacji wśród członków EPRM. Opracowanie własne.

10. BIBLIOGRAFIA

- Casey, M. J., & Wong, P. (2019). Global supply chains are about to get better, thanks to blockchain. W *Blockchain: the insights you need from Harvard Business Review Press* (s. 85–92). Harvard Business Review Press.
- European Commission. (b.d.). *Corporate sustainability reporting* Pobrano 19 kwiecień 2025, z https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/company-reporting-and-auditing/company-reporting/corporate-sustainability-reporting_en
- European Commission. (b.d.). *Critical Raw Materials Act* Pobrano 11 wrzesień 2025, z https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials/critical-raw-materials-act_en
- Directive – EU – 2024/1760 – EN – EUR-Lex. (b.d.). Pobrano 19 kwiecień 2025, z <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1760/oj>
- Gibbert, M., Ruigrok, W., & Wicki, B. (2008). What passes as rigorous case study? *Strategic Management Journal*, 1465–1474.
- Glinka, B., & Czakon, W. (2021). Szkoły badań jakościowych. W *Podstawy badań jakościowych : T. I* (I, s. 43–76).
- Hilson, G. , & M. R. (2020). Formalising artisanal and small-scale mining in sub-Saharan Africa: From shadow economy to durable development. *Development Policy Review*, 38(5), 685–702. <https://doi.org/10.1111/dpr.12464>
- Hoex, L., Sépulchre, J.-S., & Moor, M. (2023). *The EU Conflict Minerals Regulation High Stakes, Disappointing Results Paper on the effectiveness of European Union Regulation 2017/821* International Peace Information Service.
- Home – Tin Link. (b.d.). Pobrano 11 wrzesień 2025, z <https://tinlink.eu/>
- International Energy Agency. (2023). *Sustainable and Responsible Critical Mineral Supply Chains Guidance for policy makers*. www.iea.org
- ITA. (2021). *Tin for the Future*.
- Kapoor, I., Pratt-Rogers, W., & Kahraman, M. M. (2022). The problem of conflict minerals: A review of current approaches and a web 3.0 inspired road ahead. *Resources Policy*, 79. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103064>
- Loch, M., Mthembu-Salter, G., Schaap, F., & Loch, K. (2023). *Over a Decade of Effort and Impacts analysis conflict minerals*. Friedrich Naumann Foundation <https://shop.freiheit.org/#!/Publikation/1435>
- Mathiassen, L. (2017). Designing Engaged Scholarship: From Real-World Problems to Research Publications. *Engaged Management ReView*, 1(1). <https://doi.org/10.28953/2375-8643.1000>
- MNiSW. (2019). *20190529_komunikat_Doktoraty_wdrozeniowe*.
- OECD. (2023). *Conflict transformation and the role of responsible artisanal and small-scale mining. Supporting peace through supply chain due diligence*. <https://doi.org/10.1787/cdbd61d1-en>
- Pearce, J. (2023). *TIN FOR TOMORROW*.
- Regulation – 2023/1542 – EN – EUR-Lex. (b.d.). Official Journal of the EU. Pobrano 11 wrzesień 2025, z <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj>
- REGULATION (EU) 2017/ 821 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL – of 17 May 2017 – laying down supply chain due diligence obligations for Union importers of tin, tantalum and tungsten, their ores, and gold originating from conflict-affected and high-risk areas*. (b.d.). Official Journal of the EU.
- Saunders, M. , L. P. , & T. A. (2018). *Research methods for business students* (8th wyd.). Pearson Education Limited.

- Teoria interesariuszy wczesnego Freemana – nie tylko etyka – Forum Odpowiedzialnego Biznesu. (b.d.). Pobrano 11 wrzesień 2025, z <https://odpowiedzialnybiznes.pl/artykuly/teoria-interesariuszy-wczesnego-freemana-nie-tylko-etyka/>
- U.S. GAO. (2023). *CONFLICT MINERALS 2022 Company Reports on Mineral Sources Were Similar to Those Filed in Prior Years Report to Congressional Committees United States Government Accountability Office.*
- U.S. Geological Survey. (2023). *MINERAL COMMODITY SUMMARIES 2023*. 1–210. <https://doi.org/https://doi.org/10.3133/mcs2023>.
- Van De Ven, A. H. (2007). *Engaged scholarship: A guide for organizational and social research*. Oxford University Press.
- Vlaskamp, M. C. (2025). Looking for Resource Sovereignty in a Fragmenting Global Order: The EU's Response to Critical Raw Materials Challenges. *European Union in International Affairs, Part F3661*, 147–175. https://doi.org/10.1007/978-3-031-64060-5_6/TABLES/1
- World Bank. (2020). A global platform for artisanal & small scale mining data 2020. *State of the Artisanal and Small-Scale Mining Sector*. www.delvedatabase.org/2020report
- Yin, K. R. (2018). *Case study research and applications. Design and Methods*. SAGE.

11. REMINISCENCJE Z BADAŃ

Poniższa sekcja prezentuje wybrane materiały wizualne z prac terenowych, działań monitoringowych oraz wydarzeń eksperckich, towarzyszących realizacji badań Autorki. Fotografie uzupełniają wyniki empiryczne, ilustrując kontekst operacyjny i sieć interesariuszy.



Fot. 1 [Gatsibo, Rwanda], [Sierpień, 2025] — weryfikacja wdrożenia rozwiązania blockchain w kopalni Mbogo, Źródło: archiwum autorki.



Fot. 2 [Gatsibo, Rwanda], [Sierpień, 2022] —spotkanie z zespołem Due Dilligence kopalni kasyterytu w Prowincji Zachodniej Rwandy, pozyskanie danych empirycznych, Źródło: archiwum autorki.



Fot. 3 [Bruksela, Belgia], [Maj, 2024] — spotkanie z ekspertami z EiT Raw Materials i deweloperami technologii blockchain w ramach szczytu EiT Raw Materials. Źródło: archiwum autorki.



Fot. 4 [Paryż, Francja], [kwiecień 2023] — Spotkanie z kluczowymi ekspertami rządowymi w ramach realizacji fazy pierwszej badań – walidacji eksperckiej, Forum OECD, (na zdjęciu – Dr Ivan Twagirashema – Minister Górnictwa Rwandy), Źródło: archiwum autorki.



Fot. 5 [Kigali, Rwanda], [wrzesień, 2022] — Obserwacja – weryfikacja danych umieszczonych w Digital Product Passport dot. jakości koncentratu kasyterytu w laboratorium Luna Smelter Ltd.), Źródło: archiwum autorki



Fot. 6 [Kayanza, Rwanda], [Styczeń, 2022] — Wizyta terenowa - opracowanie dokumentacji do wdrożenia technologii blockchain w ramach kopalni kasyterytu w Prowincji Wschodniej. Źródło: archiwum autorki.



Fot. 7 [Paryż, Francja], [maj, 2024] — Przedstawienie technicznych aspektów kontroli łańcucha dostaw minerałów 3T w ramach panelu Responsible Minerals Initiative podczas Szczytu OECD. Źródło: archiwum autorki.



Fot. 8 [Kigali, Rwanda], [Sierpień, 2021] — Obserwacja - generowanie Digital Product Passport dla transportu kasyterytu dla huty Luna Smelter, Źródło: archiwum autorki.