

ROZPRAWA DOKTORSKA



Metoda oceny możliwości wykorzystania infrastruktury oraz zasobów kopalń węgla kamiennego po zakończeniu eksploatacji

mgr inż. Aleksander Frejowski

Promotor:

dr hab. inż. Alicja Krzemień, prof. GIG-PIB

Promotor pomocniczy:

dr inż. Jan Bondaruk

Katowice, styczeń 2025 r.

*Serdecznie dziękuję Pani dr hab. inż. **Alicji Krzemień**, prof. GIG-PIB, za nieocenioną pomoc, praktyczne wskazówki oraz wsparcie, które okazały się dla mnie nie tylko źródłem inspiracji, ale również motorem rozwoju podczas pisania mojej rozprawy doktorskiej.*

*Wyraży głębokiej wdzięczności kieruję również do Pana dr. inż. **Jana Bondaruka** za okazaną życzliwość, motywację oraz cenne rady dotyczące prowadzonych badań i kształtu mojej rozprawy.*

Spis treści

Spis treści	3
Abstract	5
1. Wstęp	7
2. Cel i zakres pracy	10
3. Transformacja górnictwa węgla kamiennego w Polsce – stan wiedzy	15
3.1. Regulacje prawne dotyczące wykorzystania infrastruktury i zasobów zamykanych kopalń węgla kamiennego	15
3.2. Przegląd doświadczeń z zakresu zamykania kopalń w Polsce	21
4. Wykorzystanie infrastruktury oraz zasobów podziemnych kopalń węgla dla nowej działalności gospodarczej – doświadczenia europejskie	27
4.1. Likwidacja podziemnych kopalń węgla kamiennego w Wielkiej Brytanii	29
4.2. Likwidacja podziemnych kopalń węgla kamiennego we Francji i w Belgii	31
4.3. Likwidacja podziemnych kopalń węgla kamiennego w Niemczech	32
4.4. Likwidacja podziemnych kopalń węgla kamiennego w Hiszpanii	35
4.5. Przegląd zaimplementowanych technologii na bazie zamykanych kopalń	36
5. Metodyka zastosowana w pracy	40
5.1. Badania eksperckie metodą Delphi	41
5.2. Analiza strukturalna	43
5.3. Analiza morfologiczna	47
5.4. Analiza wielokryterialna	51
5.5. Wybór modelu biznesowego	55
5.6. Wskaźnikowa analiza wybranego modelu biznesowego	57
6. Zmiana przeznaczenia zamykanych kopalń węgla kamiennego przez opracowanie modeli biznesowych opartych na energii odnawialnej i gospodarce o obiegu zamkniętym	60
6.1. Określanie kryteriów kluczowych dla opracowania scenariuszy wykorzystywania zasobów i infrastruktury zamykanych kopalń węgla	61
6.1.1. Określanie kryteriów kluczowych dla części podziemnej kopalni węgla kamiennego	62
6.1.2. Określanie kryteriów kluczowych dla części powierzchniowej kopalni węgla kamiennego	69
6.1.3. Określanie kryteriów kluczowych dla otoczenia kopalni węgla kamiennego	74
6.1.4. Podsumowanie analiz związanych z określaniem kryteriów kluczowych	80
6.2. Analiza modeli biznesowych opartych na rozwoju energii odnawialnej, gospodarce o obiegu zamkniętym i technologiach magazynowania energii	82
6.2.1. Opracowanie alternatyw rozwoju	83
6.2.2. Opracowanie scenariuszy wykorzystania kopalń po zakończeniu eksploatacji	93
6.2.3. Ocena scenariuszy wykorzystania kopalń węgla kamiennego po zakończeniu eksploatacji	97
6.3. Wybór modeli biznesowych zgodnych z zaproponowanymi kryteriami	103
6.3.1. Kryteria zastosowane w analizie wielokryterialnej	103
6.3.2. Polityki Europejskiego Zielonego Ładu	105
6.3.3. Wybór modeli biznesowych – akcje	106
6.3.4. Wybór modeli biznesowych – mikroakcje	109
7. Uzasadnienie wyboru modeli biznesowych	112
7.1. Poziom gotowości technologicznej TRL	113
7.2. Ocena kryteriów technicznych	115
7.3. Taksonomia UE	117
7.4. Synergia środowiska kopalni	119
7.5. Gospodarka o obiegu zamkniętym	121
7.6. Integracja sektorów	122
7.7. Uzasadnienie wyboru modelu biznesowego – wyniki	124
8. Wskaźnikowa analiza modelu biznesowego	128
9. Określenie potencjalnej żywotności kopalń prowadzących podziemną eksploatację węgla energetycznego w Polsce	134

*Metoda oceny możliwości wykorzystania infrastruktury oraz zasobów kopalń węgla kamiennego
po zakończeniu eksploatacji*

9.1.	Kryteria określające żywotność kopalń węgla kamiennego	135
9.2.	Wyniki analiz	140
9.2.1.	Określanie kryteriów kluczowych spośród kryteriów związanych ze skrepowaniem eksploatacji	141
9.2.2.	Określanie kryteriów kluczowych spośród kryteriów określających jakość zasobów i poziom skomplikowania dostępu do nich	145
9.3.	Określanie potencjalnej żywotności kopalń węgla kamiennego	149
10.	Podsumowanie badań	158
11.	Wnioski	163
	Spis ilustracji	167
	Spis tabel	169
	Literatura	171
	Aneksy	183

Abstract

The doctoral dissertation focuses on the analysis and evaluation of opportunities for transforming the infrastructure and resources of decommissioned coal mines in Poland into innovative business models designed to address contemporary climate, social, and economic challenges. The primary objectives of the research include the development of a methodology for assessing the economic potential of decommissioned coal mines and the formulation of optimal solutions that integrate the principles of a circular economy with the requirements of the European Green Deal.

The initial phase of the study involved an analysis of restructuring processes in the coal mining industry in Poland and selected Western European countries, including Germany, the United Kingdom, France, and Spain. This analysis facilitated the identification of key elements underpinning the transformation of the coal sector, such as protective programs, social and economic measures, and strategies for mitigating the adverse effects of coal mine closures. These findings provided a foundation for determining best practices and critical challenges associated with the transition of mining regions.

The research methodology encompassed the application of advanced analytical techniques, including morphological analysis, structural analysis, and expert assessments conducted using the Delphi method. These techniques were employed to develop a comprehensive set of evaluation criteria, encompassing both underground and surface infrastructure, as well as the immediate surroundings of the mines. A pivotal aspect of the study involved the design and assessment of business scenarios aligned with the objectives of the European Green Deal, including climate neutrality, greenhouse gas emissions reduction, support for low-emission economic development, and the socio-economic revitalization of post-mining areas.

The findings indicate that one of the most viable business models is the repurposing of decommissioned coal mines into industrial eco-parks integrated with virtual power plants. This model enables the efficient utilization of existing infrastructure for the production and storage of renewable energy, including geothermal, wind, and solar power. Additionally, industrial eco-parks demonstrate significant potential for

integrating supplementary technological innovations, such as green hydrogen production facilities and energy storage systems based on molten salts. Special consideration was given to the synergies between these technologies and their potential impacts on local communities and economies.

The proposed model aligns closely with the principles of a circular economy, emphasizing the minimization of waste, optimization of resource flows, and the promotion of local economic cooperation. This approach contributes not only to advancing energy transition objectives but also to establishing sustainable economic foundations for regions affected by coal mine closures.

The research outcomes provide a universal framework for assessing the potential of decommissioned coal mines, which can be adapted to diverse local conditions both in Poland and in other countries with similar socio-economic contexts. The proposed scenarios represent a substantial contribution to the process of a just transition, offering sustainable and innovative solutions that facilitate decarbonisation and the socio-economic development of local communities. This methodology constitutes a valuable instrument for policymakers and stakeholders, enabling informed decision-making in the context of energy and economic transformation across Europe.

1. Wstęp

Rozwój górnictwa węgla kamiennego w Europie związany jest z rewolucją przemysłową rozpoczętą w Anglii i w Szkocji, której początki sięgają XVIII wieku. Przez kolejne 200 lat górnictwo węglowe miało istotny wpływ na rozwój gospodarczy, przemysłowy i społeczny Europy. Szczyt rozwoju górnictwa węglowego pod względem wielkości wydobycia i liczby zatrudnionych górników nastąpił w latach 50. ubiegłego wieku. Założona w 1952 roku Europejska Wspólnota Węgla i Stali (EWWiS) była pierwszą europejską instytucją ponadnarodową działającą na rzecz rozwoju gospodarczego i wolnego handlu, a umiejscowienie w jej nazwie słowa „węgiel” wskazywało, jak istotny był to wówczas surowiec. Podział Europy po II wojnie światowej i obowiązujący do 1989 roku układ geopolityczny determinował uczestnictwo w EWWiS wyłącznie państw znajdujących się po zachodniej stronie „żelaznej kurtyny”, czyli bloku państw tzw. demokracji ludowej.

Jednym z ważniejszych efektów współpracy państw zachodnioeuropejskich w ramach EWWiS było powołanie do życia w 1958 roku, na mocy traktatów rzymskich, Europejskiej Wspólnoty Gospodarczej (EWG), która była jednym z filarów ustanowionej traktatem z Maastricht w 1992 roku Unii Europejskiej (UE).

Lata 50. XX wieku były dekadą wzrostów i rekordów w górnictwie węglowym, natomiast już od lat 60. i 70. ubiegłego wieku państwa zachodniej Europy rozpoczęły zmniejszanie produkcji węgla, wynikające głównie z wolnorynkowych zasad popytu i podaży. Odchodzenie od węgla kamiennego było decyzją przemysłową, jak i zaplanowaną, a sam proces restrukturyzacji przemysłu wydobywczego trwał nawet kilkadziesiąt lat. Najwcześniej z wydobywania węgla kamiennego zrezygnowała Holandia (lata 70. XX wieku), następnie Belgia (lata 80. i 90. XX wieku), Francja (początek XXI wieku) oraz – w drugiej dekadzie XXI wieku – Zjednoczone Królestwo Wielkiej Brytanii i Irlandii Północnej (Wielka Brytania), Niemcy (ostatnia kopalnia zamknięta w 2018 roku) oraz Hiszpania.

W odróżnieniu do zachodniej części Europy w jej części wschodniej, w tym w Polsce, gospodarka aż do przełomu lat 80. i 90. XX wieku nie opierała się na zasadach wolnorynkowych, a była centralnie zarządzana. Przejście na gospodarkę wolnorynkową

było procesem dziejowo koniecznym, jakkolwiek w przypadku przemysłu ciężkiego, w tym górnictwa węgla kamiennego, było jednocześnie procesem trudnym do realizacji.

Lata 90 ubiegłego wieku i początek XXI wieku to okres podejmowania prób restrukturyzacji polskiego górnictwa i dopasowywania zasad jego funkcjonowania do wolnorynkowej rzeczywistości (Dubiński i Turek, 2009; Karbownik i Turek, 2011; Turek, 2003). Pomimo zamknięcia 32 z 70 kopalń węgla kamiennego do 2004 roku włącznie, Polska została członkiem UE z największą liczbą czynnych podziemnych kopalń węgla oraz z największym wydobyciem węgla, przy prawie 130 000 osobach zatrudnionych w kopalniach (WUG, 2005).

Lata 90. XX wieku były także czasem, gdy w państwach UE o „węglowej” historii bądź już dawno zapomniano (Holandia, Belgia), bądź właśnie zapominano (Francja), bądź też miano zapomnieć w najbliższych latach (Niemcy, Wielka Brytania i Hiszpania). Lobby węglowe w krajach UE stawało się coraz mniej liczne i wpływowe, mimo że, oprócz Polski, przyjęto do UE inne kraje z funkcjonującym wówczas górnictwem węglowym – Czechy, Słowację i Węgry, a w 2007 roku także Rumunię.

Koniec wydobywania węgla kamiennego w krajach „starej” UE (jak i znaczne zmniejszenie jego wykorzystywania jako surowca energetycznego) poprzedził wprowadzanie działań mających na celu zwiększanie efektywnego wykorzystania zasobów przez przejście na zieloną gospodarkę o obiegu zamkniętym, inwestycje w technologie przyjazne środowisku oraz dekarbonizację sektora energetycznego. Zostało to przedstawione przez Komisję Europejską w 2019 roku, jako Europejski Zielony Ład, a następnie, w 2021 roku, zatwierdzone przez Parlament Europejski. Wiąże się to z koniecznością podjęcia w polskim górnictwie węglowym zdecydowanych działań, które pozwolą na spełnienie wytycznych obowiązującej polityki UE (Frejowski, Bondaruk i Duda 2021). Jest to niezwykle ważny i trudny temat, gdyż węgiel jest wciąż surowcem energetycznym, na którym oparte jest – i przez najbliższe lata dalej będzie – bezpieczeństwo energetyczne Polski.

Powyższe wiąże się z nieuchronnym odejściem od eksploatacji węgla kamiennego, ale daje również szansę na budowanie nowych modeli biznesowych i wykorzystanie czynnych kopalń w Polsce w innych działach gospodarki niż eksploatacja złóż węgla kamiennego. Wydaje się zasadne przygotowanie zamykanych kopalń do przyszłego

wykorzystania w sposób zgodny lub zbliżony do wytycznych związanych z polityką Europejskiego Zielonego Ładu. Europejski Zielony Ład to strategia Unii Europejskiej mająca na celu przekształcenie gospodarki UE w nowoczesną, zasobooszczędną i konkurencyjną gospodarką, z uwzględnieniem osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2050 roku. Plan ten zakłada zerowy poziom emisji gazów cieplarnianych netto, oddzielenie wzrostu gospodarczego od zużycia zasobów oraz zapewnienie, że żadna osoba ani żaden region nie zostaną pominięte w procesie transformacji (Dyrektywa 2022/2464, 2022; Dyrektywa 2023/1791, 2023).

W rozprawie doktorskiej dokonano analizy i oceny potencjału polskich kopalń węgla kamiennego, który może być wykorzystany do funkcjonowania w innych działach gospodarki niż przemysł wydobywczy. Przeprowadzono szereg analiz pozwalających na wskazanie kierunków wykorzystania potencjału zamykanych kopalń węgla kamiennego do podjęcia działalności innej niż wydobywcza, określenia kryteriów racjonalnej i bezpiecznej gospodarki złożem, determinującej zakończenie eksploatacji oraz wskazanie optymalnych scenariuszy gospodarczego wykorzystania infrastruktury i zasobów zamykanych kopalń.

Analizie poddano proces likwidacji kopalń węgla kamiennego w państwach Europy Zachodniej i przykłady wykorzystania infrastruktury pokopalnianej w innych działaniach gospodarczych. Pozwoliło to na opracowanie różnych scenariuszy wykorzystania zasobów i infrastruktury krajowych kopalń do potrzeb związanych z nowymi technologiami/projektami/modelami biznesowymi, których wdrożenie pozwoli na zmniejszenie skutków zamykania kopalń na obszarach, gdzie zakończono podziemną eksploatację węgla kamiennego.

2. Cel i zakres pracy

Przeprowadzone prace opisane w rozprawie doktorskiej miały cel nie tylko naukowy, ale także praktyczny.

Cel naukowy

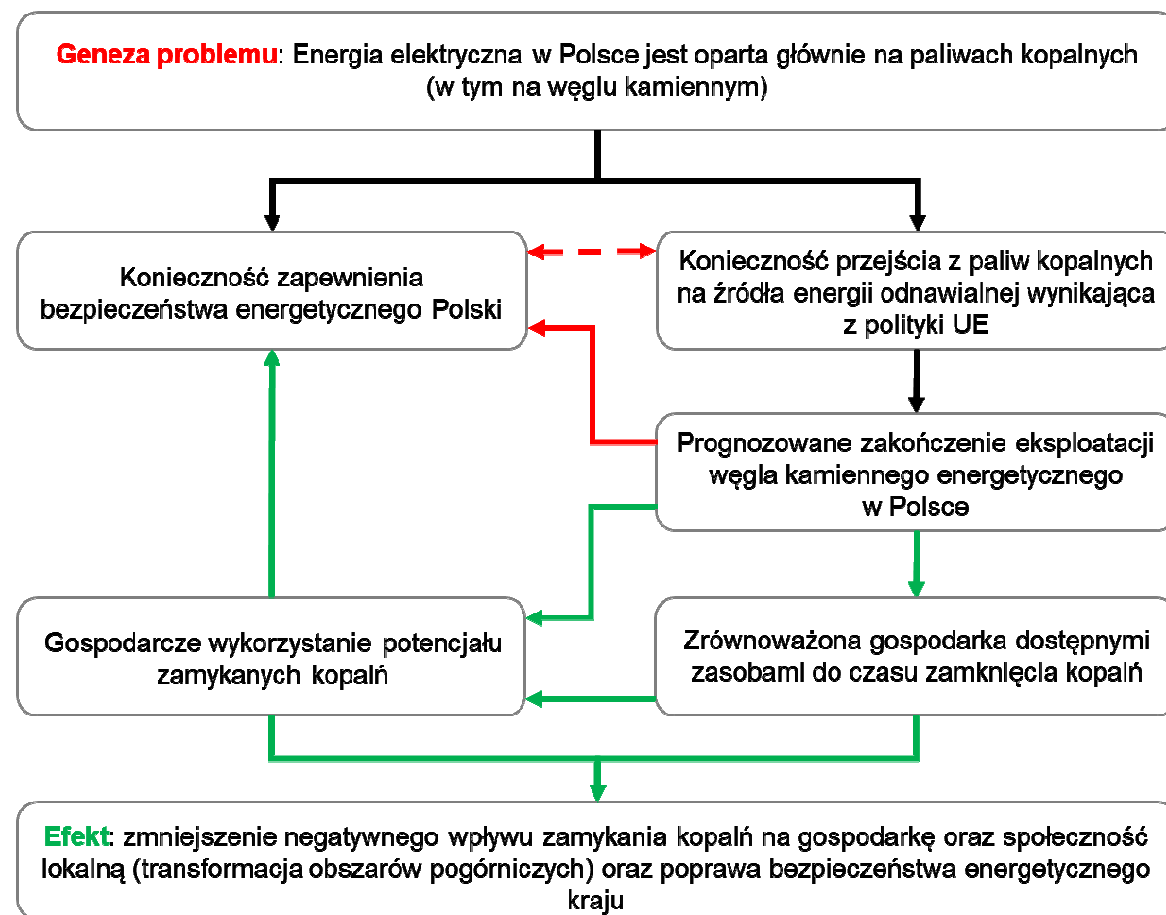
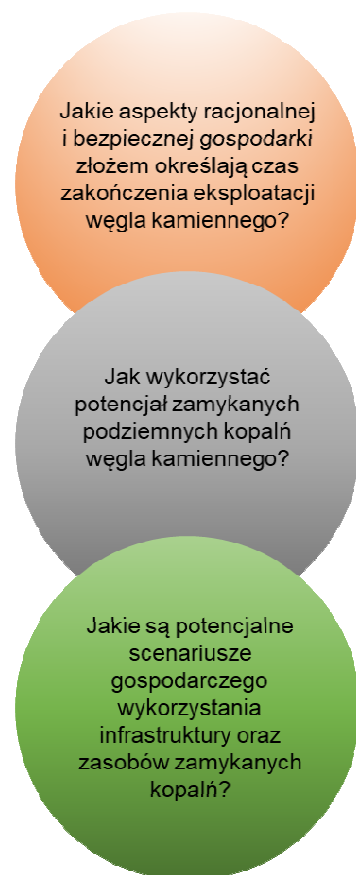
Opracowanie metody pozwalającej na ocenę możliwości wykorzystania infrastruktury i zasobów czynnych kopalń węgla kamiennego do celów gospodarczych po zakończeniu podziemnej eksploatacji.

Cel użyteczny

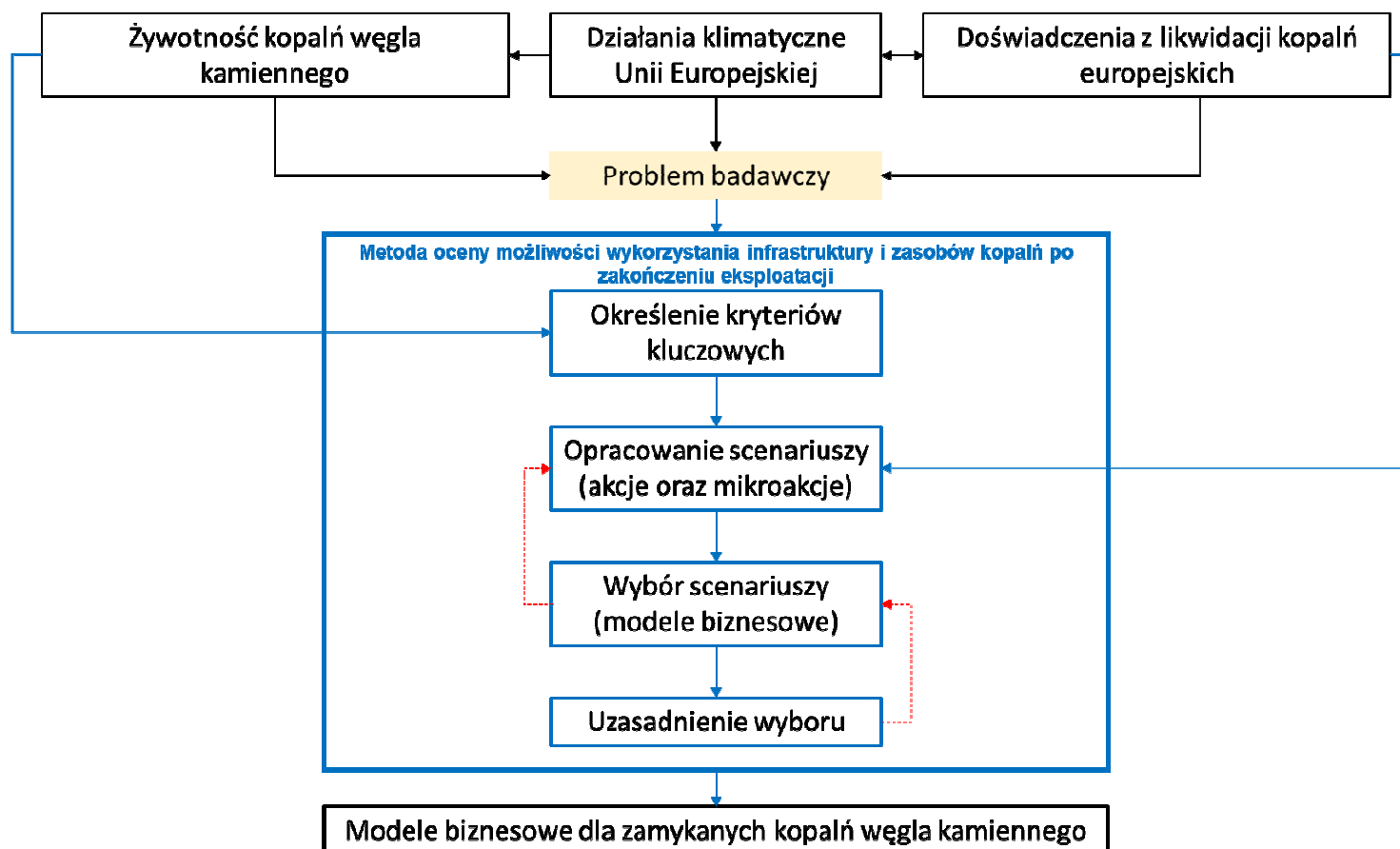
Określenie potencjału czynnych kopalń do ich funkcjonowania w innych działach gospodarki niż wydobywanie węgla po zakończeniu eksploatacji. Są to na przykład cele energetyczne, w tym produkcja i magazynowanie energii odnawialnej oparte na gospodarce obiegu zamkniętego z uwzględnieniem obowiązujących regulacji prawnych UE w tym zakresie.

Na rysunku 2.1 przedstawiono założenia pracy. Dywersyfikacja źródeł energii w Polsce powinna być związana z płynnym przejściem z energii opartej na paliwach kopalnych na energię ze źródeł odnawialnych. Kluczowym etapem tego procesu jest okres między zamknięciem kopalń węgla kamiennego, a rozpoczęciem produkcji energii ze źródeł odnawialnych na poziomie, który nie wpływa na bezpieczeństwo energetyczne kraju. Istotne jest zarówno określenie prognozowanej żywotności czynnych kopalń, w których wydobywa się węgiel energetyczny, jak i określenie kryteriów, które stanowią będą podstawę opracowania nowych modeli biznesowych, opartych na dostępnych zasobach oraz infrastrukturze tych kopalń. Na rysunku 2.2 przedstawiono algorytm realizacji pracy, natomiast na rysunku 2.3 schemat uzyskanych celów oraz podjętych w tym zakresie działań.

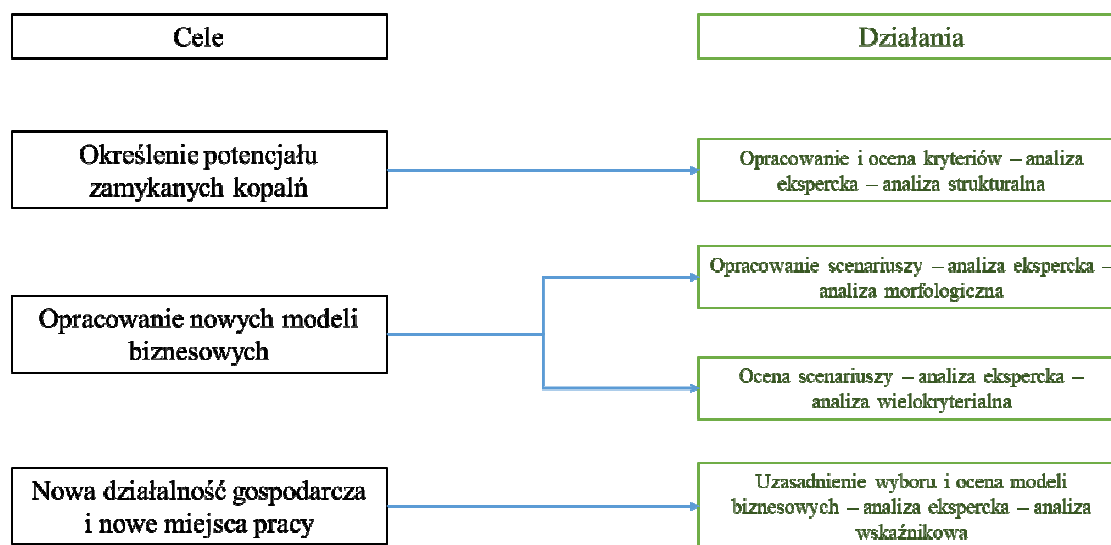
PROBLEMY BADAWCZE



Rys. 2.1. Założenia realizowanej pracy



Rys. 2.2. Algorytm realizacji pracy



Rys. 2.3. Cele pracy i prowadzące do nich działania

Problem badawczy rozpatrywany w niniejszej rozprawie doktorskiej dotyczy ograniczenia skutków procesu likwidacji kopalń węgla kamiennego dla gospodarki i lokalnej społeczności Górnego Śląska. W Europejskim Zielonym Ładzie przewiduje się, że Polska przeprowadzi dekarbonizację gospodarki do 2050 roku. Zadanie to jest trudne zarówno z punktu widzenia technicznego, jak i społecznego. Większość kopalń do tej pory likwidowanych była zamykana przez fizyczne zasypywanie szybów i likwidację infrastruktury powierzchniowej. Nieliczne są przykłady wykorzystania infrastruktury zamkniętych kopalń, jak np. Muzeum Przemysłu i Techniki (Stara Kopalnia w Wałbrzychu) w byłej KWK Thorez w Wałbrzychu, czy centrum handlowe na terenie byłej KWK Gottwald w Katowicach. Na Górnym Śląsku, podobnie jak w innych rejonach górniczych Europy w planach sprawiedliwej transformacji brak jest konkretnych rozwiązań wspomagających przemianę gospodarcze z wykorzystaniem potencjału likwidowanych kopalń.

Przejsie na odnawialne źródła energii będzie skutkowało rezygnacją z pierwotnych źródeł energii, co w przypadku Polski oznacza rezygnację z wydobywania i produkcji energii z węgla brunatnego i węgla kamiennego. Należy zastanowić się, czy można czynne źródła produkcji surowców pierwotnych (czyli kopalnie węgla) wykorzystać do celów związanych z produkcją i magazynowaniem energii odnawialnej oraz gospodarką o obiegu zamkniętym.

Zakres badań i analiz obejmował:

- określenie kryteriów kluczowych dla opracowania potencjalnych scenariuszy wykorzystania zasobów i infrastruktury zamykanych kopalń węgla,
- opracowanie i analizę scenariuszy modeli biznesowych opartych na produkcji i magazynowaniu energii odnawialnej oraz na gospodarce o obiegu zamkniętego,
- wybór modeli biznesowych zgodnych z zaproponowanymi kryteriami,
- dodatkowe analizy dla wytypowanych modeli biznesowych i ich hierarchizacja,
- prognozę potencjalnej żywotności podziemnych kopalń węgla kamiennego w Polsce wydobywających węgiel przeznaczony do produkcji energii oraz ciepła; prognozę oparto na ocenie dostępnej bazy zasobowej kopalń z uwzględnieniem zagrożeń wynikających z warunków geologiczno-górnich w rozpatrywanych kopalniach.

3. Transformacja górnictwa węgla kamiennego w Polsce – stan wiedzy

W niniejszym rozdziale przedstawiono informacje dotyczące transformacji górnictwa węglowego w Polsce od początku przemian ustrojowych na przełomie lat 80. i 90. ubiegłego wieku do czasów obecnych.

Omówiono podstawowe regulacje prawne odnoszące się zarówno do funkcjonowania górnictwa w okresie ostatnich 35 lat, jak i do restrukturyzacji tego przemysłu. Próby dostosowania funkcjonowania podziemnego górnictwa węglowego podejmowane przez kolejne rządy skutkowały zmniejszaniem nie tylko liczby czynnych kopalń, ale także osób pracujących w samych kopalniach oraz w powiązanych działach gospodarki (Dubiński i Turek, 2009; Kaczmarek i in., 2022; Karbownik i Turek, 2011; Paszcza, 2010; Probierz, 2015).

Kopalnie zamykano bądź przez zakończenie wydobywania i oficjalną likwidację, bądź przez łączenie dwóch niezależnych kopalń w jeden dwuruchowy zakład górniczy i stopniowe wygaszanie eksploatacji w jednym z ruchów. W roku 1989 czynnych było 70 kopalń węgla kamiennego (KWK) – 65 kopalni w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (GZW), 4 kopalnie w Dolnośląskim Zagłębiu Węglowym oraz 1 kopalnia w Lubelskim Zagłębiu Węglowym (LZW). Po tym roku eksploatację rozpoczęto tylko w dwóch nowych kopalniach na terenie GZW (KWK Budryk oraz KWK Borynia-Zofiówka-Bzie Ruch Bzie). Do 2024 roku zlikwidowano 46 kopalni, które funkcjonowały w roku 1989, czyli ponad 65%.

3.1. Regulacje prawne dotyczące wykorzystania infrastruktury i zasobów zamykanych kopalń węgla kamiennego

Przejście z gospodarki centralnie planowanej na gospodarkę wolnorynkową silnie oddziaływało na przemysł wydobywczy, w tym głównie na przemysł związany z podziemną eksploatacją węgla kamiennego.

Podejmowane od lat 80. XX wieku próby przekształcenia kopalń węgla kamiennego w przedsiębiorstwa funkcjonujące na wolnym rynku, stanowiły zarówno wyzwanie, jak i problem dla kolejnych rządów III RP (Karbownik i Bijańska, 2000; Karbownik i Turek, 2002, 2011). W odróżnieniu od innych branż gospodarki, które zostały

urynkowane/sprywatyzowane, sektor górniczy, w znacznym stopniu, dalej pozostaje w rękach Państwa.

W ostatnich trzydziestu latach w górnictwie węgla kamiennego nastąpiły przeobrażenia organizacyjne, techniczne, kadrowe oraz finansowe w ramach kolejnych reform. W efekcie ich wprowadzania kopalnie przekształcono w przedsiębiorstwa państwowe, które grupowano w spółkach węglowych (Karbownik i Turek, 2011).

Od początku lat 90. XX wieku wprowadzano różne programy restrukturyzacyjne, mające na celu dostosowanie funkcjonowania przemysłu wydobywczego węgla kamiennego do warunków gospodarki wolnorynkowej (Dubiński i Turek, 2009; Kaczmarek i in., 2022; Karbownik i Turek, 2002; Kosiarz, 2022).

W dniu 15 marca 1993 roku Rada Ministrów przyjęła pierwszy rządowy program restrukturyzacji górnictwa „Restrukturyzacja górnictwa węgla kamiennego w Polsce – realizacja I etapu w ramach możliwości finansowych państwa”. Założono w nim między innymi likwidację samodzielnych kopalń oraz powołanie spółek górniczych. Restrukturyzacja polegała na zgrupowaniu 60 kopalń węgla kamiennego w sześciu spółkach węglowych i jednym holdingu węglowym, pozostawieniu pięciu kopalń jako samodzielnych przedsiębiorstw – jednoosobowych spółek Skarbu Państwa oraz postawieniu pięciu kopalń w stan likwidacji (Karbownik i Bijańska, 2000).

Sytuacja górnictwa węgla kamiennego w Polsce związana ze zmianami gospodarczymi i społecznymi, wymuszała na rządzących wprowadzanie modyfikacji obowiązującego programu restrukturyzacji, a następnie kolejnych programów. Kolejny program został wprowadzony w dniu 18 lutego 1994 roku pod nazwą: „Restrukturyzacja górnictwa węgla kamiennego – program dla II etapu w latach od 1994 do 1995” (Turek, 2003).

Następnym wdrażanym programem była przyjęta 30 czerwca 1998 roku w czasach rządu Jerzego Buzka „Reforma górnictwa węgla kamiennego w Polsce w latach 1998–2002” (Dubiński i Turek, 2009). W przyjętym 21 grudnia 1999 roku dokumencie „Korekta programu rządowego: Reforma górnictwa węgla kamiennego w Polsce w latach 1998–2002” założono dalsze ograniczenie wydobycia oraz zatrudnienia w górnictwie. W okresie obowiązywania tego programu zamknięto w sumie 19 kopalni, w tym całkowicie zakończono eksploatację w DZW.

W dniu 21 sierpnia 2000 roku, w ramach realizacji rządowego programu reformy górnictwa węgla kamiennego na lata 1998–2002 oraz kolejnych, Minister Gospodarki powołał Spółkę Restrukturyzacji Kopalń SA (SRK SA). Jej nadrzędnym celem jest likwidacja nieczynnych kopalń oraz efektywne zagospodarowanie ich majątku (Siemieniec, Gałęziowski i Wodecki, 2005).

W dniu 28 stycznia 2003 roku Rada Ministrów przyjęła do realizacji „Program restrukturyzacji górnictwa węgla kamiennego w Polsce na lata 2003–2006”. Był to pierwszy program restrukturyzacji górnictwa węgla kamiennego przyjęty po 1989 roku przygotowany już zgodnie z ustawodawstwem UE. W programie założono między innymi zmiany strukturalno-organizacyjne, oddzielenie kopalń efektywnych ekonomicznie od nierentownych, likwidację kopalń, zmniejszenie zatrudnienia, aktywizację zawodową i tworzenie nowych miejsc pracy, restrukturyzację należności, rozłożenie zobowiązań na raty. Program miał być realizowany przy wsparciu budżetu, środków własnych spółek węglowych, kredytów oraz funduszy UE.

Efektem realizacji programu stała się, przeprowadzona w 2003 roku, reorganizacja zarządzania górnictwem. W miejsce zlikwidowanych pięciu spółek węglowych (Gliwickiej, Bytomskiej, Rybnickiej, Nadwiślańskiej, Rudzkiej), powołana została Kompania Węglowa SA (KW SA). Ten największy w Europie koncern węglowy tworzyły 23 kopalnie: KWK Anna, KWK Bielszowice, KWK Bolesław Śmiały, KWK Brzeszcze, Zakład Górniczy Bytom II (ZG Bytom II), ZG Bytom III, ZG Centrum, KWK Chwałowice, KWK Halemba, KWK Janina, KWK Jankowice, KWK Knurów, KWK Makoszowy, KWK Marcel, KWK Piast, KWK Piekary, KWK Pokój, KWK Polska-Wirek, KWK Rydułtowy, KWK Silesia, KWK Sośnica, KWK Szczygłowice, KWK Ziemowit. Kopalnie podzielone zostały między cztery centra wydobywcze (CW): CW Północ, CW Południe, CW Wschód, CW Zachód, co w pewnym stopniu odzwierciedlało przynależność kopalń do poprzednich spółek.

Oprócz KW SA funkcjonowała dalej Jastrzębska Spółka Węglowa SA (JSW SA) oraz Katowicki Holding Węglowy SA (KHW SA).

W lipcu 2007 roku wprowadzono kolejny program pod nazwą „Strategia działalności górnictwa węgla kamiennego w Polsce w latach 2007–2015”, następnie „Ustawę z dnia 7 września 2007 roku o funkcjonowaniu górnictwa węgla kamiennego w latach 2008–

2015” (Dz. U. Nr 192, poz. 1379). Program ten był nowelizowany w 2011 i 2014 roku. Zakładał on zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego kraju przez zaspokojenie krajowego zapotrzebowania na węgiel kamienny, w tym wykorzystanie węgla kamiennego do produkcji paliw płynnych i gazowych; utrzymanie konkurencyjności polskiego węgla kamiennego w gospodarce wolnorynkowej; zapewnienie stabilnych dostaw węgla o wymaganej jakości dla odbiorców krajowych i zagranicznych; stosowanie nowoczesnych technologii w górnictwie węgla kamiennego w celu zwiększenia konkurencyjności cenowej, bezpieczeństwa i ochrony środowiska oraz umożliwienie rozwoju naukowo-technicznego, szczególnie na Górnym Śląsku i w Małopolsce.

Lata 2013–2015 to okres kryzysu ekonomicznego w polskim górnictwie, który dotknął szczególnie KW SA, co zaowocowało kolejnymi zmianami organizacyjnymi (Bednorz, 2015).

W 2014 roku na bazie Południowego Koncernu Węglowego SA (PKW SA) powołano do życia Tauron Wydobywanie SA (Malec i in., 2014), w którym zrzeszono kopalnie wchodzące w skład byłej Nadwiślańskiej Spółki Węglowej SA (NSW SA), a następnie KW SA: ZG Sobieski i ZG Janina, a od 2016 roku również ZG Brzeszcze. Od początku 2024 roku firma wróciła do nazwy Południowy Koncern Węglowy SA.

W 2015 roku w ramach grupy kapitałowej Węglokoks SA, powstała spółka Węglokoks Kraj SA, która przejęła od KW SA kopalnie KWK Piekary i KWK Bobrek-Centrum Ruch Bobrek (Bednorz, 2015).

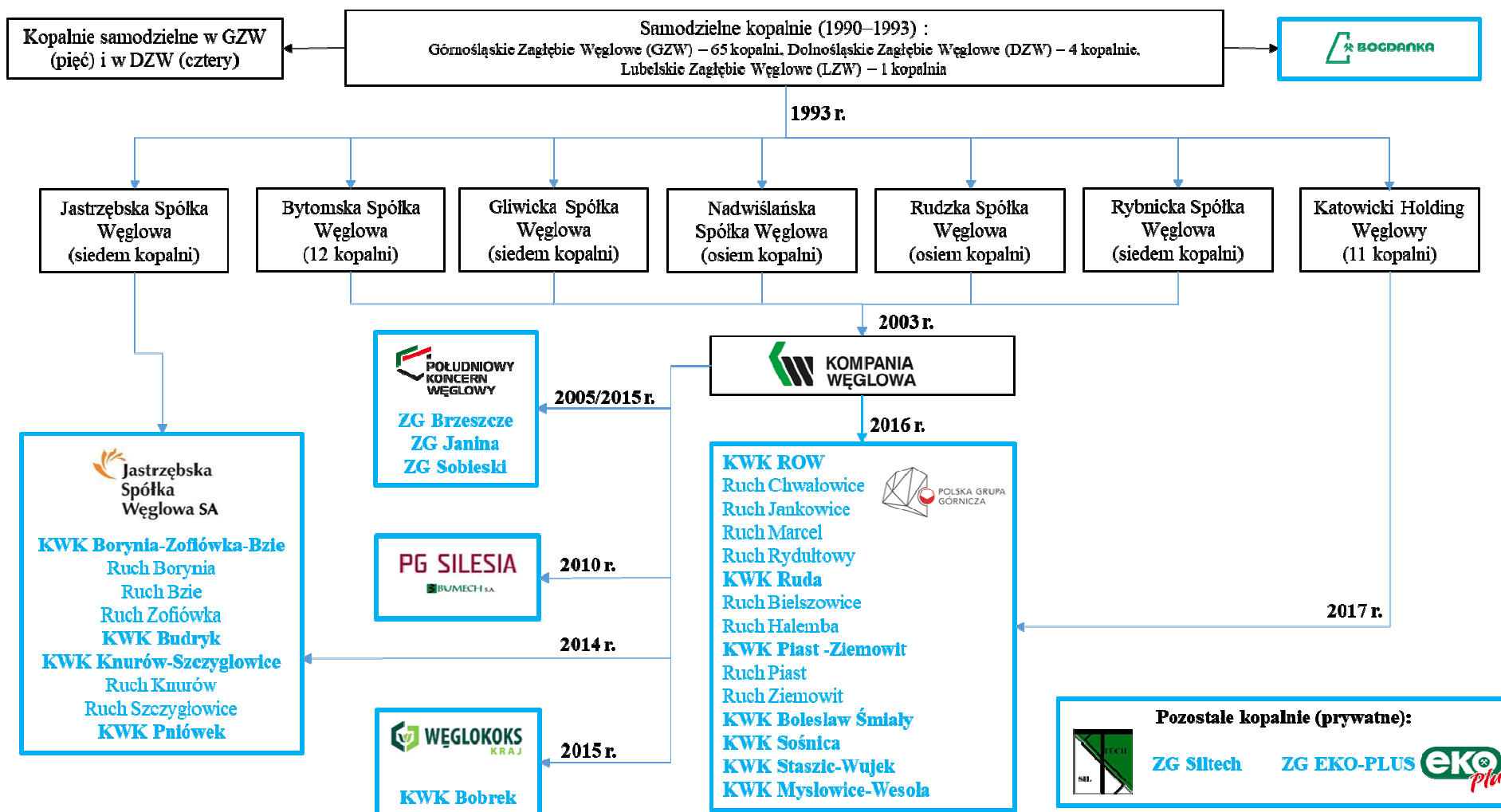
W lipcu 2016 roku założono Polską Grupę Górniczą SA (PGG SA), która objęła 11 kopalń należących do KW SA: KWK Bielszowice, KWK Bolesław Śmiały, KWK Chwałowice, KWK Halemba-Wirek, KWK Jankowice, KWK Marcel, KWK Piast, KWK Pokój, KWK Rydułtowy-Anna, KWK Sośnica, KWK Ziemowit. W 2016 roku do PGG SA przyłączono kopalnie z KHW SA: KWK Mysłowice-Wesoła, KWK Murcki-Staszic, KWK Wieczorek, KWK Wujek.

W styczniu 2018 roku przyjęto kolejny, obowiązujący do tej pory „Program dla sektora górnictwa węgla kamiennego w Polsce 2018–2030”. Program przewiduje zwiększenie wydajności kopalń, dostosowanie wydobywania do potrzeb rynku oraz zapewnienie

odpowiedniego poziomu inwestycji w tych kopalniach, w których zapewnią one najwyższą efektywność ekonomiczną (Kaczmarek, Kolegowicz i Szymła 2022). Uzupełnieniem programu była tak zwana „Umowa społeczna” z 28 maja 2021 roku w której zawarto „Harmonogram zakończenia eksploatacji w kopalniach węgla kamiennego w latach 2021–2049.

Szczegółowy harmonogram działań związanych z restrukturyzacją górnictwa węglowego w latach 1987–2024 został przedstawiony w aneksie nr 1, w którym uwzględniono kolejne etapy reformy górnictwa, wprowadzane w życie akty prawne – ich cele oraz efekty, a także skutki – w postaci likwidowanych kopalń węgla. Zawarto w nim także informacje dotyczące uchwalanych i wdrażanych w życie ustaw, programów i strategii z zakresu funkcjonowania górnictwa węgla kamiennego w Polsce po 1987 roku, przedstawione chronologicznie na tle historycznych faktów. Uwzględniono zmiany organizacyjne w górnictwie węglowym oraz ilościowo-czasową analizę zamykanych kopalń. Bezpośrednim efektem transformacji było zamknięcie części kopalń samodzielnych oraz przyłączenie niektórych z nich do innych zakładów górniczych. Łączenie kopalń skutkowało zazwyczaj stopniowym wygaszaniem wydobywania w jednym z ruchów.

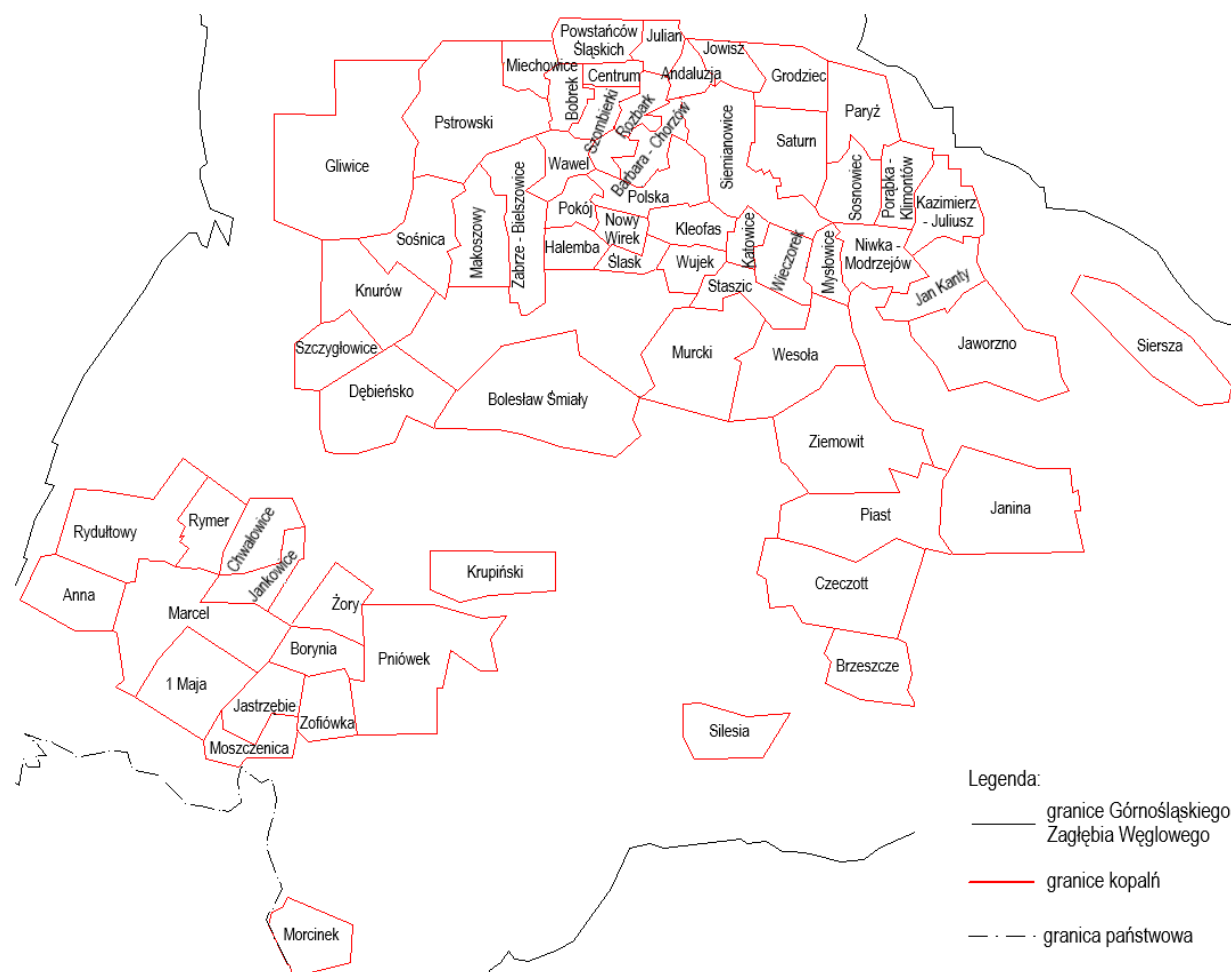
Zmiany organizacyjne dotyczące górnictwa węgla kamiennego w latach 1990–2024 zostały przedstawione na rysunku 3.1.



Rys. 3.1. Zmiany organizacyjne w górnictwie węgla kamiennego w latach 1990 –2024 (opracowanie własne)

3.2. Przegląd doświadczeń z zakresu zamykania kopalń w Polsce

W 1989 roku w kopalniach zlokalizowanych na obszarze GZW wydobyto 171,4 mln ton węgla, a łącznie, z kopalniami zlokalizowanymi w obszarze DZW i LZW, około 177,4 mln ton. Od 1989 roku z początkowej liczby 75 kopalń węgla kamiennego, zlikwidowano 46, a w tym czasie powstały tylko dwie nowe kopalnie. Górnictwo węgla kamiennego zatrudniało wówczas ponad 415000 pracowników (Probierz, 2015). Łączny obszar górniczy czynnych kopalń w 1989 roku wynosił 1975 km², natomiast w 2002 roku, po zamknięciu 29 kopalni, już tylko 1254 km² (Turek, 2003). Na rysunku 3.2 przedstawiono lokalizację obszarów górniczych czynnych kopalń węgla kamiennego na obszarze GZW – stan z przełomu lat 80. i 90. ubiegłego wieku.



Rys. 3.2. Lokalizacja obszarów górniczych kopalń węgla kamiennego w obszarze GZK – stan z przełomu lat 80. i 90. XX wieku
(opracowanie własne)

Pierwszą zamkniętą kopalnią po 1989 roku była KWK Barbara-Chorzów – likwidacja w roku 1993. Od 1989 roku, bez połączenia z innymi kopalniami zamknięto 24 kopalnie (tabela 3.1).

Tabela 3.1. Kopalnie zamknięte bez połączenia z innymi kopalniami (opracowanie własne)

Lp.	Kopalnie/ruchy wydobywcze zamknięte bezpośrednio (po 1989 roku)	
	Nazwa kopalni	Rok zamknięcia
1	KWK Barbara-Chorzów	1993
2	KWK Paryż	1995
3	KWK Saturn	1995
4	KWK Żory	1996
5	KWK Sosnowiec	1997
6	KWK Morcinek	1998
7	KWK Grodziec	1998
8	KWK Porąbka-Klimontów	1998
9	KWK Niwka-Modrzejów	1999
10	KWK Siemianowice	1999
11	KWK Siersza	1999
12	KWK Rozbark	1999
13	KWK Gliwice	1999
14	KWK Jowisz	2000
15	KWK Pstrowski	2000
16	KWK Dębieńsko	2000
17	KWK Jan Kanty	2000
18	KWK Nowa Ruda (DZW)	2000
19	KWK Powstańców Śląskich	2001
20	KWK Kleofas	2004
21	KWK Kazimierz-Juliusz	2015
22	KWK Makoszowy	2016
23	KWK Krupiński	2017
24	KWK Wieczorek	2018

Obecnie w części obszaru KWK Pstrowski eksploatację prowadzi prywatne przedsiębiorstwo ZG Siltech, natomiast w części obszaru KWK Powstańców Śląskich prywatna firma ZG EKO-PLUS.

W wyniku włączenia do innych kopalń lub połączenia zakończono eksploatację w 22 zakładach górniczych (tabela 3.2).

Tabela 3.2. Kopalnie zamknięte po połączeniu z inną kopalnią (opracowanie własne)

Lp.	Kopalnie/ruchy wydobywcze zamknięte po połączeniu do innej kopalni (po 1989 roku)				
	Nazwa kopalni	Data połączenia	Połączenie z kopalnią	Data likwidacji	Okres połączenia, lata
1	KWK Szombierki	1993	KWK Centrum	1996	3
2	KWK Wałbrzych (DZW)	1993	Wałbrzyskie Kopalnie Węgla Kamiennego	1998	5
3	KWK Victoria (DZW)	1993		1998	5
4	KWK Thorez (DZW)	1993		1996	3
5	KWK Rymer	1995	KWK Chwałowice	1999	4
6	KWK 1 Maja	1995	KWK Marcel	2001	6
7	KWK Polska	1995	KWK Nowy Wirek	1999	4
8	KWK Wawel	1995	KWK Pokój	2000	5
9	KWK Moszczenica	1995	KWK Jastrzębie	2000	5
10	KWK Katowice	1996	KWK Kleofas	1999	3
11	KWK Miechowice	1996	KWK Bobrek	1999	3
12	KWK Cieczott	2000	KWK Piast	2005	5
13	KWK Andaluza	2003	KWK Piekary/KWK Bobrek	2020	17
14	KWK Julian	2003	KWK Piekary/KWK Bobrek	2020	17
15	KWK Anna	2004	KWK Rydułtowy	2016	12
16	KWK Śląsk	2005	KWK Wujek	2018	13
17	KWK Centrum	2005	KWK Bobrek	2015	10
18	KWK Mysłowice	2007	KWK Wesoła	2015	8
19	KWK Nowy Wirek	2007	KWK Halemba	2014	7
20	KWK Murcki	2010	KWK Staszic	2015	5
21	KWK Jastrzębie	2013	KWK Borynia-Zofiówka	2021	8
22	KWK Pokój	2016	KWK Ruda	2022	6

W przypadku KWK Silesia, jej połączenie w 2005 roku z KWK Brzeszcze, jako Ruch II nie doprowadziło do likwidacji zakładu. Kopalnię Silesia w 2010 roku kupiła czeska spółka Energetický a průmyslový holding, co uratowało kopalnię przed zamknięciem (Černoch i in., 2021).

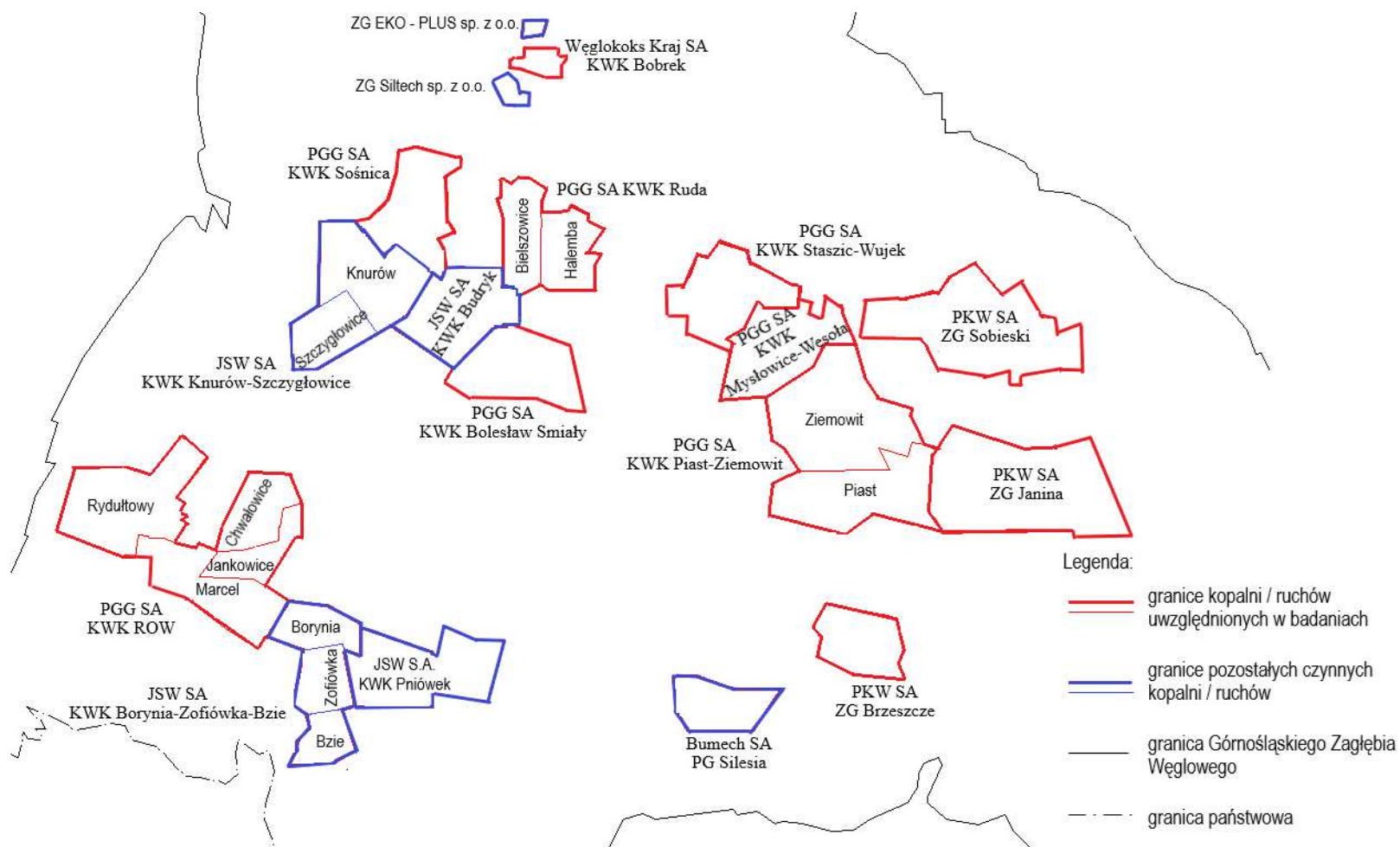
W porównaniu do 1989 roku bez łączenia z innymi kopalniami funkcjonuje jedynie sześć zakładów górniczych: ZG Sobieski, ZG Janina, KWK Bolesław Śmiały, KWK Pniówek, KWK Budryk na obszarze GZW oraz LW Bogdanka w LZW.

Po 25 latach od zmiany ustroju i rozpoczęcia transformacji górnictwa węglowego eksploatacja w obszarze GZW prowadzona jest w 29 kopalniach/ruchach wydobywczych (WUG, 2024). W czerwcu 2024 roku podano do wiadomości

publicznej, że Węglokoks Kraj SA. z końcem 2025 roku zamyka swoją jedyną kopalnię – KWK Bobrek w Bytomiu. W DZW od ponad 20 lat nie prowadzi się eksploatacji, jakkolwiek planowane jest rozpoczęcie eksploatacji węgla koksowego w KWK Heddi II na obszarze zamkniętej KWK Nowa Ruda (Baic, Blaschke i Gaj, 2019), natomiast w LZW czynna jest kopalnia Bogdanka.

Rysunek 3.3 pokazuje natomiast lokalizację czynnych kopalń na obszarze GZW. Kolorem niebieskim zaznaczono kopalnie skupione w PGG SA, Południowym Koncernie Węglowym SA oraz w Węglokoks Kraj SA produkujące węgiel energetyczny, które były przedmiotem badań w ramach rozprawy doktorskiej w rozdziale 9. Kolorem czerwonym zaznaczono kopalnie JSW SA produkujące węgiel koksowy i kopalnie prywatne, które ze względu na specyfikę produkcji i/lub działalności nie zostały objęte badaniami.

Aneks nr 2 zawiera zestawianie kopalń węgla kamiennego w Polsce w latach 1989–2024 na tle zmian organizacyjnych. W zestawieniu kopalnie zlikwidowane podzielono na kopalnie zamknięte bezpośrednio i na kopalnie przyłączone do innej kopalni jako zakładu dwuruchowego, a następnie zamknięte, nie jako samodzielna kopalnia, ale jako ruch wydobywczy (czyli według stanu kopalń na 1989 rok).



Rys. 3.3. Lokalizacja czynnych kopalń węgla kamiennego na obszarze GZW (stan na 2024 rok) z zaznaczonymi kopalniami/ruchami wydobywczymi uwzględnionymi w badaniach (opracowanie własne)

4. Wykorzystanie infrastruktury oraz zasobów podziemnych kopalń węgla dla nowej działalności gospodarczej – doświadczenia europejskie

Lata 60. i późniejsze XX wieku to stopniowe odchodzenie od węgla w krajach Europy Zachodniej. Jeszcze na początku lat 90. ubiegłego wieku cztery państwa: Wielka Brytania, Francja, Niemcy, Hiszpania oraz Polska odpowiadały za ponad 90% wydobycia węgla kamiennego w Europie, przy czym Polska produkowała 56% (Kaczmarek i in., 2022).

Wiek XXI to oficjalne zakończenie wydobywania węgla kamiennego we Francji (w 2004 roku), Wielkiej Brytanii (w 2015 roku), Hiszpanii i w Niemczech (w obu państwach w 2018 roku). Obecnie węgiel kamienny w krajach UE z wykorzystaniem metody podziemnej wydobywa się głównie w Polsce, a także w mniejszych ilościach w Czechach (Konicek i in., 2022) – wydobycie prowadzone jest w czeskiej części GZW przez państwową firmę Ostravsko-Karvinské Doly a.s. (OKD a.s.), czyli spółkę Kopalnie Ostrawsko – Karwińskie. Według stanu na 2024 rok czynna jest jedna kopalnia ČSM w Stonawie (Karwina) – jest to właściwie kopalnia dwuruchowa – zakłady ČSM sever (północ) oraz ČSM jih (południe), w której w 2023 roku wydobyto około 1,4 miliona ton węgla kamiennego. Kopalnia ta zlokalizowana jest w pobliżu granicy czesko-polskiej, w pobliżu Kaczyc, gdzie znajdowała się zlikwidowana KWK Morcinek. Zakończenie wydobycie planowane jest na rok 2026.

Słowacka podziemna kopalnia węgla brunatnego Nováky z wydobyciem rzędu miliona ton rocznie (Mojšes, Petrovič, i Bugár 2022), zakończyła eksploatację z końcem 2023 roku. Na Węgrzech ostatnią podziemną kopalnię węgla kamiennego Márkushegy zamknięto w 2016 roku (Ladányi, 2018).

Niewielka eksploatacja – rzędu 200 tysięcy ton rocznie, prowadzona jest wciąż (w 2024 roku) w kopalni San Nicholas należącej do grupy Hunosa w Hiszpanii. Są jeszcze dwie prywatne kopalnie w Asturii nadal eksploatują antracyt, ponieważ nie korzystały z dotacji z Unii Europejskiej: kopalnia Miura w Villares (Ibias) i Pilotuerto w Tineo. Planowane jest rozpoczęcie eksploatacji w kolejnej kopalni w Vega de Rengos (Álvarez Fernández, 2024).

W pozostałych krajach europejskich wciąż prowadzona jest podziemna eksploatacja węgla – zarówno kamiennego, jak i brunatnego. Poniżej przedstawiono w ujęciu syntetycznym najważniejsze dane z wybranych państw europejskich, w których wciąż prowadzi się podziemną eksploatację węgla.

W Bośni i Hercegowinie podziemna eksploatacja węgla brunatnego prowadzona jest w kopalniach: RMU Kamengrad, RMU Bila, RMU Zenica, RMU Kakanj, RMU Breza, RMU Miljevina, RMU Banovici, RMU Durdevik oraz w RMU Ugljevik (Tresnjo i in., 2017).

W Norwegii – jedyna (ostatnia czynna) kopalnia Gruve 7, zlokalizowana w Longyearbyen na Spitsbergenie, prowadzi niewielkie wydobycie rzędu 120 tysięcy ton rocznie. Planowane na 2023 rok zamknięcie kopalni (Zwahlen i in., 2023) zostało przedłużone do 2025 roku.

W Rumunii podziemna eksploatacja węgla prowadzona jest w złożu doliny rzeki Jiu, w kopalniach Livezeni, Lonea, Lupeni oraz Vulcan, należących do przedsiębiorstwa energetycznego Hunedoara (CEH). Roczne wydobycie w tych kopalniach nie przekracza 500 tysięcy ton węgla. Kopalnie Lonea i Lupeni są przewidziane do zamknięcia w 2024 roku (Tomescu i in., 2022).

W Serbii funkcjonuje osiem kopalń prowadzących podziemną eksploatację węgla w dziesięciu ruchach wydobywczych, należących do państwowej spółki JP PEU Resavica: RA Vrška Čuka (kopalnia antracytu), dwuruchowa RKU Ibarski rudnici (kopalnia węgla kamiennego) oraz kopalnie wydobywające węgiel brunatny: trzyruchowy RMU Rembas, RMU Bogovina, RMU Soko, RMU Jasenovac, RMU Štavalj oraz RU Lubnica. Średnie roczne wydobycie węgla w JP PEU Resavica wynosi 400–600 tysięcy ton (Ivković i in., 2022). Pokłady węgla są udostępniane upadowymi, szybami udostępniane jest tylko złożo w RMU Soko i na ruchu Senjski rudnik RMU Rembas. Funkcjonują również małe kopalnie prywatne, o niewielkim wydobyciu, w tym kopalnia Kovin, niedaleko miejscowości Smedrerevo i Požarevac, prowadząca eksploatację węgla pod Dunajem (Kostović, Kostović, i Tokalić 2018).

W Słowenii podziemną eksploatację prowadzi jedna kopalnia węgla brunatnego Velenje; wydobyte wynosi około 3 milionów ton rocznie (Medved i in., 2012).

W Wielkiej Brytanii wydobywanie podziemne prowadzi prywatna kopalnia antracytu Aberpergwm w Walii, osiągająca wydobywanie około 230 tysięcy ton rocznie (Sadasiwam i in., 2019).

Poniżej przedstawiono zarys historii, a następnie restrukturyzacji podziemnego górnictwa węglowego w Wielkiej Brytanii, Francji, Belgii, Niemczech i w Hiszpanii. Restrukturyzacja górnictwa węglowego w tych państwach przebiegała w różnych, zazwyczaj długich interwałach czasowych, miała cechy wspólne, ale i różniła się w zakresie przyjętych sposobów i metod jej przeprowadzania.

Przedstawiono również przykłady wykorzystania infrastruktury oraz zasobów likwidowanych kopalń węgla kamiennego w tych państwach, jakkolwiek należy stwierdzić, iż są to przypadki jednostkowe.

4.1. Likwidacja podziemnych kopalń węgla kamiennego w Wielkiej Brytanii

Górnictwo węgla kamiennego odegrało kluczową rolę w okresie rewolucji przemysłowej zapoczątkowanej w Anglii i w Szkocji w XVII wieku i w kolejnych stuleciach. Węgiel kamienny pozostawał podstawowym surowcem energetycznym w Zjednoczonym Królestwie Wielkiej Brytanii i Irlandii Północnej (Wielkiej Brytanii) aż do lat 70. i 80. XX wieku (Fernihough i O'Rourke, 2021). Górnictwo węglowe rozwijało się głównie w Anglii, Walii i w Szkocji, natomiast mniej w Irlandii Północnej. Po II wojnie światowej, w 1947 roku, górnictwo węgla kamiennego w Wielkiej Brytanii zostało znacjonalizowane (Gibbs i Phillips, 2019).

W szczytowym okresie produkcji, w latach 50. XX wieku, w około 900 brytyjskich kopalniach (w tym 225 było zlokalizowanych w Szkocji, a reszta w Anglii i w Wali) produkowano ponad 220 milionów ton węgla, co stanowiło 90% całkowitego zużycia energii pierwotnej w Wielkiej Brytanii, przy zatrudnieniu wynoszącym około 700 000 górników. Po tym okresie następował już powolny regres górnictwa węglowego, wynikający zarówno z przyczyn ekonomicznych, jak i szczypania łatwo dostępnych złóż węgla. Pod koniec lat 70. XX wieku roczna produkcja węgla wynosiła około 110 milionów ton i była produkowana przez około 240 000 górników w prawie 230 kopalniach. Ostatnim etapem walki o górnictwo węglowe były strajki w latach 1984–1985, które zakończyły się spadkiem wydobywania oraz zamykaniem kopalń. Pod

koniec lat 80. XX wieku w około 100 kopalniach prawie 110 000 górników wydobywało rocznie około 80–90 milionów ton węgla.

W połowie lat 90. XX wieku wydobywano około 40 milionów ton węgla przy, zatrudnieniu około 10 000 ludzi, a w 1994 roku zostały sprywatyzowane ostatnie państwowe kopalnie węgla (Aragón i in., 2015; Jachowicz, 1999).

Ostatnią brytyjską podziemną kopalnię węgla Kellingley zlokalizowaną w hrabstwie North Yorkshire zamknięto w 2015 roku (Gajdzik-Szot, 2018).

W Szkocji ostatnie podziemne kopalnie węgla zamknięto jeszcze wcześniej – w 1998 roku zamknięto kopalnię Monktonhall w pobliżu Edynburga, a w 2002 roku ostatnią czynną kopalnię Longannet w hrabstwie Fife.

Doświadczenia i dane z podziemnej eksploatacji węgla wykorzystuje się obecnie między innymi do analizy potencjału geotermalnego wód podziemnych na terenie Szkocji (Watson i in., 2019) i w Walii (Brabham i in., 2019).

W latach 1999–2000 w Szkocji w Shettleston (wschodnia część Glasgow) i w pobliżu Cowdenbeath (hrabstwo Fife), uruchomiono dwa systemy ogrzewania oparte na wykorzystaniu wód kopalnianych. W obu przypadkach woda jest pompowana z zatopionych wyrobisk kopalni węgla przez otwór wiertniczy, wykorzystywana do ogrzewania mieszkań oraz gospodarczo, a następnie ponownie wtłaczana do wyrobisk kopalni (Banks i in., 2009). Na obszarze zamkniętych kopalń w Anglii również wykorzystywane jest ciepło pochodzące z wód kopalnianych (Banks i in., 2019)

W rejonach pogórnich rozwinął się również przemysł turystyczny oparty na obiektach pokopalnianych (Evans i in., 2018), czego przykładem jest, wpisane na listę światowego dziedzictwa UNESCO, jako Krajobraz Przemysłowy Blaenavon, miasto Blaenavon w Walii z muzeum narodowym zlokalizowanym na terenie byłej kopalni The Big Pit (Rhodes i Price, 2023).

W związku z likwidacją kopalń w Wielkiej Brytanii podejmowano próby gospodarczego wykorzystania metanu z pokładów węgla w zamkniętych kopalniach (Györe i in., 2018; Kershaw i Whitworth, 2005). Podejmowane są również próby

wykorzystania szybów kopalnianych do produkcji i magazynowania energii, między innymi z zastosowaniem metody grawitacyjnej (Morstyn i in., 2019; O'Neill, 2022).

4.2. Likwidacja podziemnych kopalń węgla kamiennego we Francji i w Belgii

Górnictwo węgla kamiennego we Francji, podobnie jak w Wielkiej Brytanii, zostało po II wojnie światowej znacjonalizowane, a wszystkie kopalnie zrzeszone w państwowym przedsiębiorstwie Charbonnages de France (CdF). Eksploatację prowadzono w licznych zagłębiach węglowych, z których największe to Nord-Pas de Calais (obecnie region Grand Est) przy granicy z Belgią i Lorraine przy granicy z Niemcami.

W latach 40. i 50. XX wieku w górnictwie węglowym we Francji pracowało około 350 000 osób, a wydobycie osiągało 50–60 milionów ton rocznie. Odchodzenie od węgla, jako krajowego nośnika energii, rozpoczęło się w latach 60. XX wieku. W związku z przejściem na energię jądrową rozpoczętym we Francji w 1974 roku. górnictwo węglowe stało się zbędne – wydobycie w 1973 roku wyniosło już tylko niecałe 30 milionów ton.

Proces restrukturyzacji francuskiego górnictwa węglowego był procesem przemysłowym, ale długotrwałym, bo trwającym około 40 lat. W 1964 roku powołano do życia, w ramach CdF, organizację do spraw rozwoju przemysłowego Société Financière pour Favoriser l'Industrialisation des Régions Minières (SOFIREM), a w 1984 roku rząd francuski utworzył fundusz reindustrializacji regionów górniczych Fond d'Industrialisation du Bassins Miniers (FIBM). W 1994 roku CdF wynegocjował pakt węglowy (Pacte Charbonnier) z większością związków zawodowych, którego celem miała być likwidacja przemysłu górniczego do 2005 roku, co zakończyło prawie 200-letni okres eksploatacji węgla kamiennego we Francji.

Ostatnie dwie podziemne kopalnie węgla w zagłębiu Lorraine zamknięto w październiku 2003 roku (kopalnia Marlebach) i w kwietniu 2004 roku (kopalnia La Houve).

W Belgii przemysł węglowy do 1967 roku pozostawał w rękach prywatnych (holding Société Générale). Eksploatację węgla prowadzono w dwóch rejonach: w Walonii i w Limburgii we Flandrii (przy granicy z Francją i Niemcami). Roboty górnicze prowadzono w trudnych warunkach geologiczno-górnictwowych. W latach 50. XX wieku

w przemyśle węglowym w Belgii pracowało około 40 000 ludzi, roczne wydobycie dochodziło do 30 milionów ton. Należy podkreślić pewną specyfikę górnictwa belgijskiego, a mianowicie fakt, że było ono mocno uzależnione od zagranicznej siły roboczej, której udział procentowy wynosił od kilkudziesięciu do 85% w schyłkowym okresie działalności tamtejszych kopalń węgla (Borkowski, 2004).

Proces likwidacji górnictwa rozpoczął się w latach 70. i 80. XX wieku, natomiast procesy związane z rewitalizacją gospodarczą i społeczną obszarów pogórnicznych (tak zwany Kontrakt Przyszłości) trwały do lat 90. XX wieku. Ostatnią czynną kopalnię Zolder w zagłębiu Limburgii zamknięto w roku 1992 (Declercq i in., 2023).

Część pozostałości górnictwa węglowego we Francji i w Belgii jest wykorzystywana jako atrakcje turystyczne/muzea lub została zaadaptowana do pełnienia nowych funkcji użyteczności publicznej (Langer, 2019). We Francji podejmowano próby wykorzystania zasobów metanu ze zlikwidowanych kopalń węgla (Defossez i in., 2013).

4.3. Likwidacja podziemnych kopalń węgla kamiennego w Niemczech

Pierwsze wzmianki dotyczące wykorzystania węgla na obszarach dzisiejszych Niemiec pochodzą z XIII wieku. Rewolucja przemysłowa podniosła rolę węgla w gospodarce, a od XIX wieku, przez dwa stulecia, górnictwo węglowe stanowiło ważny obszar przemysłowy Niemiec. Rozwijało się ono głównie w Zagłębiu Ruhry – na początku XIX wieku istniało tam około 100 kopalni, a wydobycie węgla szybko rosło – przed II wojną światową w zagłębiu Ruhry wydobywano około 140 milionów ton węgla rocznie (Aristizabal-H i in., 2023).

Po II wojnie światowej górnictwo węgla ponownie odegrało znaczącą rolę w odbudowie kraju i szybkim rozwoju przemysłu. W latach 50. XX wieku w Zagłębiu Ruhry w 138 podziemnych kopalniach węgla kamiennego pracowało około 600 000 górników, a roczne wydobycie dochodziło do ponad 120 milionów ton.

W drugim ważnym obszarze eksploatacji węgla kamiennego – w Zagłębiu Saary – w 17 podziemnych kopalniach węgla kamiennego około 65 000 górników wydobywało rocznie około 16 milionów ton węgla (Oei i in., 2020). Należy podkreślić, że po II wojnie światowej, aż do końca 1956 roku Zagłębie Saary nie znajdowało się w granicach Niemiec, a w granicach zależnego od Francji Protektoratu Saary.

Od lat 60. XX wieku produkcja węgla kamiennego w Niemczech zaczęła się zmniejszać, głównie z powodu wysokich kosztów produkcji, a także z powodu importu tańszej ropy i gazu ziemnego. Pod koniec lat 60. XX wieku liczba górników w Zagłębiu Ruhry spadła do niecałych 300 000, a w Zagłębiu Saary do ponad 30 000. W Zagłębiu Saary wydobywanie od 1957 roku prowadziła państwowa firma Saarbergwerke AG (Saarberg), natomiast w zagłębiu Ruhry, od 1968, roku firma prywatna Ruhrkohle AG (RAG SA).

Restrukturyzacja górnictwa węgla kamiennego w Niemczech była wspierana przez fundusze państwowe, jak i unijne (po 2000 roku). Pierwsze programy wspomagające i restrukturyzacyjne wprowadzono pod koniec lat 60. ubiegłego wieku (Zeğiri i in., 2024) – osobno dla Zagłębia Ruhry (dziewięć programów wspierających i restrukturyzacyjnych w latach 1968–2020) i Zagłębia Saary (osiem programów wspierających i restrukturyzacyjnych w latach 1969–2020).

Pierwszym istotnym programem był Internationale Bauausstellung Emscher Park – IBA Emscher Park (Międzynarodowa Wystawa Architektury Park Emscher) prowadzony w Zagłębiu Ruhry w latach 1989–1999 w celu pokazania nowych koncepcji w obszarze społecznym, kulturowym i ekologicznym. Zakładał on zarówno rekultywację terenów pogórnich (park krajobrazowy, odbudowa ekosystemu rzeki Emscher, przystosowanie obiektów przemysłowych/górnich do roli obiektów dziedzictwa kulturowego), jak i obejmował sprawy społeczne i ekonomiczne, takie jak nowe miejsca pracy czy nowe formy budownictwa mieszkaniowego (Shaw, 2002).

Ostatnią kopalnię Prosper-Haniel w Bottrop w Zagłębiu Ruhry zamknięto w 2018 roku (Witthaus i Melchers, 2019), natomiast w Zagłębiu Saary wydobywanie zakończyło się wcześniej – w 2012 roku zamknięto ostatnią kopalnię Saar w Ensfordie (Wolkersdorfer i in., 2022).

Zamknięcie ostatnich podziemnych kopalni węgla w Niemczech poprzedzone było kilkudziesięcioletnim okresem restrukturyzacji oraz przemian społecznych i gospodarczych regionów górniczych. Konieczność transformacji energetycznej, zakładającej dywersyfikację energii elektrycznej pochodzącej z surowców kopalnych na rzecz energii odnawialnej, przy jednoczesnej konieczności tworzenia nowych miejsc pracy, skutkowało opracowaniem projektów oraz budową instalacji doświadczalnych

i przemysłowych, takich jak (Kretschmann i Nguyen 2020; Kretschmann i Hegemann 2012; Kretschmann 2020a; Kretschmann, Efremenkova, i Khoreshok 2017):

- Elektrownie fotowoltaiczne na obiektach unieszkodliwiania odpadów wydobywczych (OUOW).
- Turbiny wiatrowe na obiektach unieszkodliwiania odpadów wydobywczych (OUOW), które w Zagłębiu Ruhry często znajdują się na wysokości od 80 do 100 m nad powierzchnią ziemi. W związku z tym miejsca te często charakteryzują się wysokimi prędkościami wiatru, które pozwalają na ekonomicznie uzasadnione wykorzystanie turbin wiatrowych.
- Wykorzystanie energii cieplnej z wody kopalnianej do ogrzewania budynków lub do przyspieszenia produkcji biomasy.
- Produkcja energii i ciepła z metanu pokładów węgla.
- Produkcja biomasy na terenach pokopalnianych, w szczególności na obiektach unieszkodliwiania odpadów wydobywczych.
- Elektrownie szczytowo-pompowe wykorzystujące obiekty unieszkodliwiania odpadów wydobywczych i wyrobiska podziemne kopalni.
- Produkcja energii geotermalnej.
- Geoturystyka.

W zamkniętej i zatopionej kopalni Markgraf II przeprowadzono pilotażowy projekt dotyczący możliwości wykorzystania zawodnionych zrobów do magazynowania energii odnawialnej pozyskanej w okresie letnim z kolektorów fotowoltaicznych zlokalizowanych na powierzchni kopalni i jej wykorzystywania w okresie zimowym do ogrzewania infrastruktury powierzchniowej (Hahn i in., 2019). Taką produkcję i magazynowanie energii odnawialnej można określić „wirtualną elektrownią”.

Kopalnia Zollverein to historyczna kopalnia węgla kamiennego w Essen, w niemieckim Zagłębiu Ruhry. Uznawana jest za jeden z najważniejszych przykładów przemysłowego dziedzictwa Niemiec i Europy. Kopalnia została założona w 1847 roku, a jej działalność wydobywcza trwała do 1986 roku. Po zamknięciu, kompleks przemysłowy został przekształcony w obiekt o charakterze muzealnym i kulturalnym. W 2001 roku kompleks Zollverein został wpisany na Listę Światowego Dziedzictwa UNESCO. Obecnie obiekt pełni funkcje turystyczne, kulturalne i edukacyjne, mieszcząc m.in.

muzea, galerie sztuki oraz centrum designu. Jest symbolem transformacji przemysłowego dziedzictwa w nowoczesne centrum kultury i innowacji (Jęczmyk, 2011, Nölle, 2013).

Innym przykładem wykorzystania zasobów zamykanych bądź zamkniętych kopalń węgla w Niemczech są próby energetycznego wykorzystania gazu kopalnianego dla kogeneracji ciepła i energii elektrycznej (Backhaus i in., 2002; Müller, 2021; van de Loo i Sitte, 2015).

Analizom poddawano również możliwość wykorzystania szybów i infrastruktury dołowej zamykanych kopalń węgla do wytwarzania i magazynowania energii na zasadach analogicznych do powierzchniowych elektrowni szczytowo-pompowych (Madlener i Specht, 2020; Niemann i in., 2018).

4.4. Likwidacja podziemnych kopalń węgla kamiennego w Hiszpanii

Hiszpania w odróżnieniu od wyżej opisanych państw, w których wydobywano węgiel kamienny, została członkiem EWG w 1986 roku, a więc w okresie, gdy górnictwo węglowe w zachodniej Europie wchodziło w etap schyłkowy. Członkostwo Hiszpanii w strukturach europejskich pozwoliło na wdrożenie programów zarówno wspierających górnictwo węglowe, jak i jego restrukturyzacje, na analogicznych zasadach jak w innych państwach EWG i w EWWiS.

Po wejściu Hiszpanii do EWG przemysł wydobywczy skupiał się w rękach prywatnych, z wyjątkiem państwowej firmy HUNOSA (Rabanal, 2009). Na początku lat 90. XX wieku liczba kopalń oscylowała wokół 140, w kopalniach zatrudnionych było około 30 000 osób, a roczne wydobycie wynosiło ponad 30 milionów ton.

Górnictwo węgla kamiennego w Hiszpanii było oparte na dotacjach i subwencjach państwowych, ale jednocześnie wiązało się z prowadzeniem procesów restrukturyzacyjnych zmierzających na zmniejszania zatrudnienia i wydobycia, a co za tym idzie zmniejszania liczby czynnych kopalń. Wprowadzano jednocześnie programy osłon społecznych, takie jak na przykład wcześniejsze emerytury, czy szkolenia zawodowe. Powoływano instytucje mające na celu łagodzenie skutków likwidacji górnictwa, takie jak (Waddington i Parry, 2003): Sociedad para el Desarrollo de las Comarcas Mineras SODECO (Towarzystwo na rzecz Rozwoju Regionów Górniczych),

Fundación Comarcas Mineras FUCOMI (Fundacja Regionów Górniczych), czy Sociedad Asturiana de Diversificación Minera SADIM (Asturyjskie Towarzystwo Dywersyfikacji Górnictwa).

W latach 90. hiszpański węgiel był mało konkurencyjny dla paliw importowanych, jego produkcja wymagała zatem subwencji państwowych i wprowadzania programów restrukturyzacyjnych, na przykład „Plan węglowej ścieżki 1998–2005 (Plan 1998–2005 de la Manera del Carbon)” (Riesgo i in., 2000).

W 2013 roku zawarto porozumienie między rządem hiszpańskim a przemysłem węglowym w sprawie zmniejszenia dotacji dla sektora górnictwa węglowego do końca 2018 roku zwane Ramowym Planem dla Kopalń Węgla i Społeczności Górniczych 2013–2018. Natomiast w 2018 roku doszło do porozumienia ramowego na rzecz sprawiedliwej transformacji górnictwa węglowego i zrównoważonego rozwoju regionów górniczych na lata 2019–2027.

Mimo zamknięcia kopalń prowadzone są działania zmierzające do prowadzenia działalności gospodarczej w oparciu o zasoby infrastrukturę kopalni, między innymi w zakresie wykorzystania wód kopalnianych jako źródła energii geotermalnej oraz wykorzystania wyrobisk dołowych jako podziemnej elektrowni szczytowo – pompowej (Menéndez i Loredó 2019).

4.5. Przegląd zaimplementowanych technologii na bazie zamykanych kopalń

Reasumując można stwierdzić, że w analizowanych krajach Europy Zachodniej podziemne górnictwo węgla kamiennego szczyt rozwoju osiągnęło w latach 50. XX wieku – rocznie wydobywano: w Wielkiej Brytanii ponad 200 milionów ton, we Francji ponad 50 milionów ton, w Belgii około 30 milionów ton, w Niderlandach (Holandia) około 12 milionów ton, w Hiszpanii około 14 milionów ton, a w Niemczech około 150 milionów ton (Jaros, 1975).

Zmiany geopolityczne zachodzące pod koniec lat 50. XX wieku i w kolejnych dwóch dekadach – kryzys sueski w 1956 roku, skutkujący między innymi uwolnieniem cen węgla, kryzysy naftowe związane z sytuacją na Bliskim Wschodzie w latach 70. XX wieku, rozpoczęcie produkcji energii jądrowej – spowodowały, że górnictwo węgla kamiennego zaczęło przestawać być ekonomicznie uzasadnione. Programy

wspomagające restrukturyzację górnictwa wprowadzane przez długi czas w Europie Zachodniej, przy znacznych środkach finansowych na racjonalne odejście od wydobywania węgla, pozwoliły na praktycznie bezproblemowe zaniechanie jego produkcji. Wyjątkiem była sytuacja w Wielkiej Brytanii, gdzie dopiero zakończenie konfliktu między związkami zawodowymi a rządem Margaret Thatcher, mającego apogeum w latach 80. XX wieku, zakończyło się szybkim odejściem od węgla. Inne podejście do sposobu restrukturyzacji i likwidacji przemysłu wydobywczego na kontynencie i „na wyspach” do dzisiaj skutkuje problemami społecznymi w dawnych ośrodkach górniczych w Wielkiej Brytanii (Beatty i in., 2007; Sinnett i Norman, 2023).

Różne było, a także jest, podejście do możliwości wykorzystania zasobów i infrastruktury zamykanych kopalń do prowadzenia innej działalności gospodarczej niż eksploatacja węgla. Oprócz wykorzystania obiektów pokopalnianych jako atrakcji turystycznych, można wskazać planowane wykorzystanie wód kopalnianych kopalni Fondon w Asturii, jako źródła dla produkcji energii geotermalnej i wytwarzania zielonego wodoru.

Możliwości wykorzystania zasobów i infrastruktury zamykanych kopalń węgla kamiennego w górniczych krajach Europy i Świata przedstawiono w tabeli 4.1.

Tabela 4.1. Przykłady wykorzystania infrastruktury i zasobów zamykanych kopalń w państwach europejskich oraz doświadczenia światowe (opracowanie własne)

Lp.	Wykorzystanie infrastruktury i zasobów zamykanych kopalń	Kraje	Literatura
1	Wirtualna elektrownia	Niemcy, Australia, Wielka Brytania, Austria, Słowenia	(Asmus, 2010; Balkangreenenergynews, 2023; Baywa-re, 2023; Kretschmann i in., 2017; Trinasolar, 2023)
2	Ekopark przemysłowy	Dania, Kanada, Chiny, Iran, Indie	(Butturi i in., 2019; Wei i in., 2017)

*Metoda oceny możliwości wykorzystania infrastruktury oraz zasobów kopalń węgla kamiennego
po zakończeniu eksploatacji*

Lp.	Wykorzystanie infrastruktury i zasobów zamykanych kopalń	Kraje	Literatura
3	Produkcja wodoru	Niemcy, Francja, Wielka Brytania, Chiny	(Capurso i in., 2022; Groppi i in., 2018; Jiang i in., 2022; Johnson i in., 2019; Lau i in., 2021; Nicita i in., 2020)
4	Metan (energia i ciepło)	Niemcy, Hiszpania, Francja	(Defossez i in., 2013; Györe i in., 2018; Kershaw i Whitworth, 2005; Kretschmann, 2020b; Kretschmann i Nguyen, 2020)
5	Turystyka i rekreacja	Wielka Brytania, Francja, Indie, Australia, Niemcy	(Evans i in., 2018; Gawor i in., 2013; Langer, 2019; Rhodes i Price, 2023, Jęczmyk, 2011, Nölle, 2013, Frejowski 2005, 2006)
6	Małe reaktory jądrowe	USA, Kanada, Wielka Brytania	(Duffaut i Vaskou, 2014; Hussein, 2020; Johnson i in., 2019)
7	Magazynowanie energii (sole stopione)	Niemcy, Dania, USA	(Johnson i in., 2019; Mahmoudinezhad i in., 2023; Matos i in., 2019)
8	Grawitacyjna produkcja i magazynowanie energii	Wielka Brytania, RPA, Czechy	(Hunt i in., 2022; Kulpa i in., 2021; Menéndez i in., 2020; Morstyn i in., 2019; O'Neill, 2022; Saigustia i Robak, 2021)
9	Wspomaganie przesyłu energii (akumulatory/super-kondensatory)	USA, Szwecja	(Groppi i in., 2018; Kulpa i in., 2021; Lepszy, 2020; Yang i in., 2018; Zhang i in., 2018)
10	Wykorzystanie wód kopalnianych (GOZ)	Wielka Brytania, Niemcy, Grecja	(Banks i in., 2019, 2009; J. Kretschmann i in., 2017; Pyrgaki i in., 2021)
11	Odzysk surowców z obiektów unieszkodliwiania odpadów wydobywczych (OUOW)	Grecja, Polska, Niemcy	(Gawor i in., 2013; Pyrgaki i in., 2021)
12	Energia geotermalna	Wielka Brytania, Niemcy, Hiszpania	(Kretschmann, 2020b; Menéndez i Loredó, 2019; Menéndez i in., 2019)

*Metoda oceny możliwości wykorzystania infrastruktury oraz zasobów kopalń węgla kamiennego
po zakończeniu eksploatacji*

Lp.	Wykorzystanie infrastruktury i zasobów zamykanych kopalń	Kraje	Literatura
13	Podziemna elektrownia szczytowo-pompowa	Niemcy, Hiszpania, Belgia, Finlandia, USA	(Kretschmann, 2020b; Kretschmann i Hegemann, 2012; Madlener i Specht, 2020; Menéndez i Loredó, 2019; Menéndez i in., 2019)
14	Wielkoskalowa infrastruktura IT	Norwegia, Chiny	(Gaber i in., 2021; A. Singh i in., 2018; Singh i Mahajan, 2021)
15	Magazynowanie energii (cieczce ciężkie)	Hiszpania, USA	(Johnson i in., 2019; Matos i in., 2019; Rubio, 2023)

5. Metodyka zastosowana w pracy

Rozdział piąty poświęcony jest szczegółowemu omówieniu metodyki oraz wyników badań i analiz przeprowadzonych w celu oceny potencjalnych scenariuszy zagospodarowania wybranych podziemnych kopalń węgla kamiennego w Polsce. W obliczu współczesnych wyzwań, takich jak dekarbonizacja gospodarki, transformacja energetyczna oraz konieczność racjonalnego wykorzystania zasobów i infrastruktury, istotne staje się opracowanie modeli biznesowych, które pozwolą na efektywne wykorzystanie potencjału zamykanych kopalń, przy jednoczesnym minimalizowaniu skutków społecznych, ekonomicznych i środowiskowych ich likwidacji.

Podstawowym elementem metodyki były badania eksperckie przeprowadzone z wykorzystaniem metody Delphi, umożliwiające pozyskanie wiedzy od specjalistów z różnych dziedzin i stopniowe dochodzenie do konsensusu. Uzupełnieniem tego procesu była analiza strukturalna, która pozwoliła na identyfikację wzajemnych zależności między kryteriami oraz hierarchizację kluczowych czynników. Kolejne etapy obejmowały analizę morfologiczną, skoncentrowaną na budowie i ocenie scenariuszy rozwoju oraz analizę wielokryterialną, umożliwiającą wybór optymalnych modeli biznesowych.

Zastosowane metody pozwoliły na dokładne i obiektywne opracowanie danych wejściowych oraz ich przetworzenie w sposób umożliwiający praktyczne wykorzystanie uzyskanych wyników. Procesy zbierania danych, metody ich analizy oraz przyjęte kryteria oceny zostały szczegółowo opisane, co pozwoliło na pełne przedstawienie przebiegu przeprowadzonych badań.

Wybór modelu biznesowego stanowi kluczowy etap w procesie analizy potencjalnych scenariuszy zagospodarowania zamykanych kopalń węgla kamiennego. Ostatni etap to wytypowanie najbardziej perspektywicznych rozwiązań gospodarczych, oparte na wieloaspektowej ocenie uwzględniającej kryteria techniczne, ekonomiczne i społeczne. Oprócz podstawowych wskaźników stosowanych w polityce Europejskiego Zielonego Ładu, przeanalizowano także dodatkowe kryteria, takie jak poziom gotowości technologicznej (TRL), wpływ kluczowych kryteriów na działania gospodarcze, potencjał synergistyczny z otoczeniem oraz możliwości integracji sektorów.

Przyjęta metodyka pozwala na wybór modelu biznesowego, który najlepiej odpowiada wymaganiom zrównoważonego rozwoju, gospodarki o obiegu zamkniętym oraz lokalnym uwarunkowaniom społeczno-ekonomicznym.

5.1. Badania eksperckie metodą Delphi

Badania i analizy, które pozwoliły na określenie potencjalnej żywotności wybranych podziemnych kopalń węgla kamiennego w Polsce, zostały oparte na wynikach ankiet przeprowadzonych metodą Delphi, opisaną szczegółowo przez Krause i Krzemień (2014). W procedurze oceny grupowej przeprowadzanej przez ekspertów, ich kompetencje oceniono na podstawie wzoru:

$$K_k = \frac{K_z + K_a}{2}$$

gdzie:

- K_k – wskaźnik kompetencji eksperta,
- K_z – współczynnik określający stopień wiedzy posiadanej przez eksperta oceniającego problem,
- K_a – współczynnik siły argumentacji.

Współczynnik K_z określa znajomość zagadnienia przez eksperta ocenioną na podstawie samooceny. Dla celów badań przyjęto następującą skalę (Krzemień 1991):

- wartość „0” – ekspert nie zna danego zagadnienia lub problemu,
- wartości „1”, „2” i „3” – ekspert posiada słabe rozeznanie zagadnienia/problemu, jakkolwiek badany i oceniany problem znajduje się w sferze jego zainteresowań zawodowych,
- wartości „4”, „5” i „6” – ekspert zadowalająco zna oceniany problem/zagadnienie, ale nie bierze bezpośredniego udziału w jego praktycznym rozwiązywaniu,

- wartości „7”, „8” i „9” – ekspert posiada dobre rozeznanie w danym zagadnieniu/problemie i uczestniczy praktycznie w jego rozwiązaniu,
- wartość „10” – oceniany problem/zagadnienie wchodzi w zakres specjalności eksperta.

Samocena eksperta wyrażona przez wartości od „0” do „10” została pomnożona przez 0,1 – co dało wartość współczynnika K_z .

Dla określenia współczynnika siły argumentacji eksperta K_a przyjęto skalę punktową opartą na trzech źródłach argumentowania (Krzemień, 1991):

- źródło argumentacji „Analiza teoretyczna” – wartość 0,3 dla wysokiego stopnia argumentacji, wartość 0,2 dla średniego stopnia argumentacji i 0,1 dla niskiego stopnia argumentacji.
- źródło argumentacji „Doświadczenie praktyczne” – wartość 0,5 dla wysokiego stopnia argumentacji, wartość 0,4 dla średniego stopnia argumentacji i 0,2 dla niskiego stopnia argumentacji.
- źródło argumentacji „Intuicja” – wartość 0,2 dla każdego stopnia argumentacji.

Wartość współczynnika K_a nie może być większa od 1,0 – co odpowiada wysokiemu stopniowi wpływu przyjętych źródeł argumentowania na wyrażanie opinii przez eksperta. Wartość współczynnika K_a wynosząca 0,8 określa średni stopień wpływu źródeł argumentowania, natomiast wartość współczynnika K_a wynosząca 0,5 odpowiada niskiemu wpływowi źródeł argumentowania eksperta. Dla oceny współczynnika K_a założono większy wpływ argumentacji z „Doświadczenia praktycznego” niż z „Analizy teoretycznej”.

Z powyższego i z wzoru (1) wynika, że maksymalna wartość współczynnika kompetencji eksperta K_k wynosi 1,0.

Kompetencje ekspertów w badaniu Delphi zostały ocenione na podstawie ich doświadczenia, dorobku naukowego oraz przynależności branżowej. W tym celu przeanalizowano życiorysy kandydatów i ich publikacje, a także w wyniku wywiadów bezpośrednich ustalono pozycję danej osoby w branży. Zapewniło to wiarygodność

wyników i wysoką jakość badania, a także nadanie większego znaczenia opiniom najbardziej kompetentnych uczestników. Takie podejście pozwoliło także zróżnicować wpływ poszczególnych odpowiedzi na końcowe wnioski, uwzględniając zarówno ich merytoryczną wartość, jak i poziom ekspertyz.

5.2. Analiza strukturalna

Analiza strukturalna pozwala na uporządkowanie wzajemnych wpływów i zależności między zdefiniowanymi kryteriami/zmiennymi w ramach jednego zbioru/obszaru, ich hierarchizacji oraz wytypowanie kryteriów istotnych/kluczowych (Duperrin i Godet, 1975; Godet, 1986, 2000; Villacorta i in., 2012; Agrawal, 2019; Dhir, 2020).

Zaletą stosowania analizy strukturalnej jest możliwość prostego identyfikowania związków łączących kryteria/zmienne, których wzajemne wpływy nie są oczywiste i mogą pozostać nierozpoznane nawet przez ekspertów w danej dziedzinie. Podstawowe ograniczenie tej metody wynika z konieczności ograniczania liczby rozpatrywanych kryteriów/zmiennych w taki sposób, aby umożliwić ekspertom ustalenie, w rozsądnym czasie, ich wzajemnych powiązań (Nazarko i in., 2020).

Pierwszym etapem analizy strukturalnej jest budowa macierzy bezpośrednich wpływów między kryteriami przyporządkowanymi do zbioru/obszaru tematycznego.

W kolejnym etapie eksperci określają wzajemne wpływy między kryteriami posługując się 4-stopniową skalą (Godet, 2000; Omran i in., 2014; Putra i in., 2020):

- „0” – brak wpływu pomiędzy kryterium i oraz kryterium j ,
- „1” – słaby wpływ pomiędzy kryterium i oraz kryterium j ,
- „2” – średni wpływ pomiędzy kryterium i oraz kryterium j ,
- „3” – silny wpływ pomiędzy kryterium i oraz kryterium j ,

Istotna dla oceny bezpośrednich wpływów między dwoma kryteriami było założenie, że bezpośredni wpływ kryterium i na kryterium j może być inny niż wpływ kryterium j na kryterium i . W celu osiągnięcia konsensusu dotyczącego wartości w obydwu macierzach, przeprowadzono dwie rundy badań eksperckich z użyciem metody Delphi.

Przykładowa ankieta ekspercka wykorzystana w niniejszej pracy została zamieszczona w aneksie nr 3.

Opracowano w ten sposób macierze wpływów bezpośrednich, a następnie przeprowadzono analizę strukturalną polegającą na zbadaniu oraz porównaniu hierarchii kryteriów opartej na wpływach bezpośrednich (dane wejściowe) i wpływach pośrednich (dane wynikowe). Przeprowadza się zatem dwie analizy: analizę strukturalną dla macierzy wpływów bezpośrednich oraz analizę strukturalną dla macierzy wpływów pośrednich.

W macierzy wpływów bezpośrednich a_{ij} każdy jej element reprezentuje bezpośredni wpływ kryterium i na kryterium j według wzoru:

$$DI_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}$$

gdzie:

- DI_i – suma wpływów wywieranych przez kryterium i na wszystkie inne kryteria,
- a_{ij} – element macierzy bezpośredniej.

Każda zależność w macierzy wpływów bezpośrednich wynika ze wzoru:

$$DP_i = \sum_{i=1}^m a_{ij}$$

gdzie:

- DP_i – suma zależności kryterium i od wszystkich innych kryteriów,
- a_{ij} – element macierzy bezpośredniej.

Macierz wpływów pośrednich obliczana jest przez iteracyjną multiplikację macierzy wpływów bezpośrednich, aż do uzyskania stabilności na poziomie 100% (Godet, 1986).

Podstawowym celem analizy strukturalnej była hierarchizacja analizowanych kryteriów, w tym określenie kryteriów kluczowych (rysunek 5.1).



Rys. 5.1. Wykres wpływów i zależności (opracowanie własne)

Na określenie kryteriów kluczowych na podstawie wykonanej analizy strukturalnej pozwala wykres wzajemnych wpływów i zależności kryteriów rozpatrywanego systemu/układu. W zależności od lokalizacji danego kryterium na wykresie wynikającym z jego zależności (na osi X) i wpływów (na osi Y), kryteria można przyporządkować do następujących grup:

- Kryteria kluczowe – zlokalizowane w pierwszej ćwiartce układu (ćwiartka prawa górna). Kryteria kluczowe są kryteriami zmiennymi, które mają istotny wpływ na pozostałe kryteria i są od nich w dużym stopniu zależne. Kryteria zlokalizowane w pierwszej ćwiartce są ze względu na ich istotne oddziaływanie na badany system kryteriami istotnymi (kluczowymi) dla jego stabilności. Są to kryteria, które szczególnie należy brać pod uwagę w kolejnych etapach badań.
- Kryteria wyznaczniki – zlokalizowane w drugiej ćwiartce układu (ćwiartka lewa górna). Kryteria wyznaczniki są kryteriami wpływu. Charakteryzują się dużym wpływem na pozostałe składniki systemu, będąc od nich jednocześnie mało zależne. Określenie kryteriów wyznaczników pozwala na sprawdzenie „jakości” uzyskanych wyników, gdyż, analizując dowolny system, można wyznaczyć kryteria, które charakteryzują się zdefiniowaną niezmiennością na przykład kryteria

środowiskowe/wejściowe (określające budowę geologiczną lub biotop), które mają wpływ na inne kryteria opisujące system, ale jednocześnie wykazują od nich praktyczny brak zależności.

- Kryteria niezależne – zlokalizowane w trzeciej ćwiartce układu (ćwiartka dolna prawa). Kryteria niezależne lub autonomiczne charakteryzują się zarówno małym wpływem na inne kryteria, jak i małą od nich zależnością. Innymi słowy są to kryteria, których wpływ na system jest niewielki/mało istotny lub też są to kryteria, które nie są powiązane z systemem tak silnie jak inne kryteria – w obrębie systemu są kryteriami autonomicznymi.
- Kryteria rezultaty są zlokalizowane w czwartej ćwiartce układu (ćwiartka dolna prawa). Są to kryteria zależne, charakteryzują się dużą zależnością od innych kryteriów budujących system, przy jednoczesnym małym na nich wpływie. W czwartej ćwiartce znajdują się w niej czynniki zależne – czynniki cele oraz czynniki rezultaty. Można powiedzieć, że są to kryteria, które w analizowanym systemie są czynnikami wyjściowymi (celami/rezultatami).
- Kryteria regulujące znajdują się w środkowej części układu. Charakteryzują się zarówno średnim wpływem na inne kryteria, jak i średnią od nich zależnością. Wahania w układzie – na przykład przez dodanie kolejnego kryterium lub zmianę potencjalnych wartości wpływu/zależności mogą przenieść kryteria regulujące do każdej z pozostałych grup kryteriów (Frejowski i Koteras, 2016).

Wyniki analiz strukturalnych zostały przedstawione w formie:

- map wpływów i zależności bezpośrednich i pośrednich (określanie kryteriów kluczowych), opracowanych na podstawie macierzy wpływów bezpośrednich, uzyskanych na drodze badania Delphi oraz na podstawie macierzy wpływów pośrednich,
- wykresów wpływów pośrednich – określanie kryteriów, między którymi zachodzą najmocniejsze wpływy na podstawie wyników analizy strukturalnej dla macierzy wpływów pośrednich.

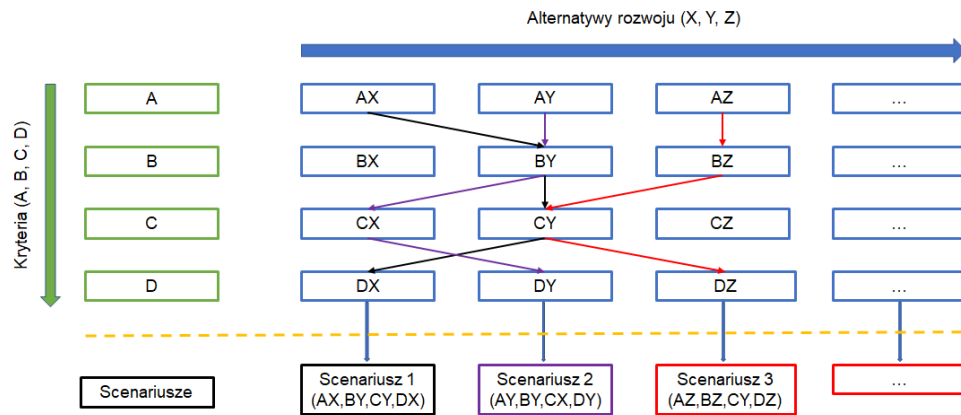
Przeprowadzona analiza strukturalna pozwoliła na wybór kryteriów odnoszących się do części podziemnej, części powierzchniowej i środowiska kopalni. Została także wykorzystana dla określenia kryteriów kluczowych określających żywotność kopalń. Dla wykonywania analiz strukturalnych korzystano z programu MICMAC w wersji 6.1.2.

5.3. Analiza morfologiczna

Metoda morfologiczna jest zazwyczaj stosowana w studiach nad prognozowaniem zdarzeń w przyszłości – w celu identyfikacji oraz analizy różnorodnych kombinacji możliwych przyszłych zjawisk, trendów czy wydarzeń. Pozwala na badanie kluczowych zmiennych/kryteriów oraz czynników wpływających na przyszłość, a następnie na analizować ich w kontekście różnych kombinacji. Metoda ta umożliwia zrozumienie, jak różne czynniki mogą wpływać na siebie nawzajem oraz jak mogą one kształtować przyszłe scenariusze. (Balouli i Chine, 2019).

Podstawowe zasady analizy morfologicznej zostały opracowane przez szwajcarskiego astrofizyka Fritza Zwicky'ego jako metoda umożliwiająca tworzenie scenariuszy, ich strukturyzację oraz badanie relacji pomiędzy kluczowymi kryteriami definiującymi te scenariusze a alternatywnymi ścieżkami ich rozwoju w wielowymiarowych i niekwantyfikowalnych przestrzeniach (Ritchey, 2006).

Danymi wejściowymi do analizy morfologicznej są najważniejsze zmienne badanego systemu (czyli kryteria kluczowe) opracowane w trakcie analizy strukturalnej. Badania eksperckie metodą Delphi pozwoliły na opracowanie alternatyw rozwoju dla każdego z kryteriów kluczowych. Każdemu z kryteriów kluczowych przypisuje się zakres możliwych alternatyw ich rozwoju (wynikających z definicji kryteriów i powiązanych z nimi czynników), co pozwala na określenie szeregu konfiguracji kryteria kluczowe – alternatywy rozwoju, tworzących potencjalne scenariusze (rys. 5.2).



Rys. 5.2. Schemat kreowania pola morfologicznego w metodzie morfologicznej
(opracowanie własne)

Otrzymuje się w ten sposób n-wymiarową przestrzeń konfiguracyjną, czyli, tzw. pole morfologiczne. Przeciętne pole morfologiczne może zawierać – w zależności od liczby kryteriów kluczowych i alternatyw rozwoju – od kilkudziesięciu tysięcy do kilku milionów konfiguracji, co jest zbyt dużą liczbą, aby można było sprawdzić każdą z nich osobno (Jurin, 2008). Przeprowadza się więc proces analizy/syntezy, którego celem jest zbadanie wewnętrznych relacji między parametrami pola morfologicznego, a następnie jego „zredukowanie” przez usunięcie wszystkich wzajemnie sprzecznych warunków – czyli identyfikację konkretnych scenariuszy po zastosowaniu oceny preferencji i odrzuceń (Balouli i Chine, 2019).

Całkowita liczba możliwych kombinacji scenariuszy N (kryterium kluczowe – alternatywa rozwoju) w systemie jest obliczana jako:

$$N = \prod_{i=1}^m n_i$$

gdzie:

- m – liczba kryteriów kluczowych,
- n_i – liczba alternatyw dla i -tego kryterium kluczowego.

Redukcja scenariuszy w analizie morfologicznej jest wyrażona funkcją:

$$Q(C_k) = \sum_{i=1}^m w_i \times f_i(C_k)$$

gdzie:

- $Q(C_k)$ – ocena kombinacji „kryteria kluczowe – alternatywy rozwoju”,
- w_i – ocena/waga przypisana i-temu kryterium kluczowego,
- $f_i(C_k)$ – wartość funkcji oceny dla i-tego kryterium kluczowego w kombinacji C_k .

Optymalne scenariusze wynikają zarówno z grupowania podobnych kombinacji, analizy obiecujących rozwiązań na podstawie danych wejściowych i ograniczeń wynikających z alternatyw rozwoju oraz z wizualizacji możliwych rozwiązań.

Analiza morfologiczna ma zatem na celu usystematyzowane badanie możliwych przyszłościowych alternatyw rozwoju związanych z kryteriami kluczowymi w celu wytypowania optymalnych scenariuszy, a także wykazanie związków między nimi. Każdy scenariusz jest charakteryzowany przez wybór określonej alternatywy rozwoju dla każdego kryterium kluczowego i jest, jednym z wielu, elementów pola morfologicznego (Jurin, 2008). Możliwa jest zatem liczba scenariuszy odpowiadająca liczbie kombinacji związanych z alternatywami ich rozwoju. Prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza może być związane z każdą alternatywą rozwoju, jakkolwiek pewne kombinacje scenariuszy, a nawet pewne grupy kombinacji, nie będą spełniać wymagań jakościowych scenariuszy. Kolejny etapem jest zatem redukcja początkowego pola morfologicznego do użytecznej przestrzeni przez wprowadzenie ograniczeń oraz wprowadzenie dodatkowych kryteriów wyboru (ekonomiczne, techniczne itp.), na podstawie których można zbadać odpowiednie kombinacje (Godet i Durance, 2011).

Można zatem przyjąć, że kombinacja kojarząca alternatywę rozwoju dla każdego rozpatrywanego kryterium, to nic innego, jak scenariusz.

Ze względu na zróżnicowanie możliwych scenariuszy, a także ich potencjał gospodarczy oraz możliwość implementacji dokonano ich podziału na dwie grupy:

- **Akcje** – scenariusze, które mogą być wdrożone w zamykanej kopalni, jako działanie gospodarcze, mogą funkcjonować zarówno jednostkowo, jak i w połączeniu z innymi scenariuszami. Akcja została zdefiniowana jako scenariusz, który może być modelem biznesowym, bez konieczności uzupełniania go o inne działania. Akcje można określić również jako scenariusze główne.
- **Mikroakcje** – scenariusze, które mogą być wdrożone w zamykanej kopalni w połączeniu z innymi scenariuszami (zarówno akcjami, jak i mikroakcjami) tworząc model biznesowy składający się z dwóch bądź większej liczby działań gospodarczych. Założono, ze względu na charakter mikroakcji że nie będzie rozpatrywana implementacja w zamykanej kopalni tylko jednego z tej grupy scenariuszy, a będą one traktowane jako uzupełnienie akcji, bądź łączone z innymi mikroakcjami. Mikroakcje można określić zatem jako scenariusze poboczne/uzupełniające.

Wyniki analiz morfologicznych zostały przedstawione w formie:

- Mapy bliskości scenariuszy (akcji oraz mikroakcji), pokazująca ogólne podobieństwo scenariuszy pod względem założonych alternatyw rozwoju. Jest ona wyznaczana na podstawie macierzy bliskości i analizy odległości do tej macierzy w celu wizualizacji scenariuszy w przestrzeni. Macierz zbieżności informuje o liczbie wspólnych hipotez między każdym scenariuszem. Z macierzy zostaną określone wskaźniki zbieżności/podobieństwa, co umożliwia uzyskanie wynikowej mapy przez analizę odległości przeprowadzoną na macierzy. Mapa bliskości może być pomocna przy podejmowaniu decyzji o kierunkach rozwoju obszaru. Bliskość do centrum może oznaczać łatwość wdrożenia lub większe prawdopodobieństwo realizacji projektu, podczas gdy dalsze opcje mogą wymagać znacznie większych zasobów i zaangażowania. Na podstawie tej analizy można zdecydować, które projekty warto rozważyć w krótkim okresie, a które stanowią opcje długoterminowe.
- Wykresu dopasowania scenariuszy (akcji oraz mikroakcji), na których wskazano scenariusze, które charakteryzują się najbardziej zbliżonymi alternatywami rozwojowymi w poszczególnych kryteriach. Jest on również wyznaczany na

podstawie macierzy zbieżności oraz macierzy wskaźników
zbieżności/podobieństwa.

Analiza morfologiczna została przeprowadzona przy wykorzystaniu programu komputerowego MORPHOL w wersji 5.1.2.

5.4. Analiza wielokryterialna

Do wyboru modeli biznesowych zastosowano analizę wielokryterialną, będącą metodą polegającą na uwzględnianiu wielu kryteriów i konkurujących ze sobą celów, do identyfikacji, porównywaniu i wyboru najlepszych opcji/działań. Wykorzystuje się w niej kombinację matematycznych, statystycznych i heurystycznych narzędzi do oceny alternatyw, wyboru najlepszych i wygenerowania optymalnych rozwiązań. Polega ona na wybraniu najlepszego rozwiązania dla zidentyfikowanego problemu, dzięki opracowaniu i skutecznemu porównaniu wszystkich istniejących możliwości (Godet, 2001a, Godet 2001b). Analiza wielokryterialna wspiera proces oceny oraz pomaga podejmować decyzje w różnych środowiskach decyzyjnych. W takim kontekście ocenia ona akcje/mikroakcje, próbując jednocześnie w tym samym czasie zdefiniować strategiczne kierunki i wybory dla skutecznego realizacji poszczególnych akcji (Stratigea, 2013). Metoda ta jest wykorzystywana do oceny alternatywnych scenariuszy, integrując podejście partycypacyjne przez zaangażowanie ekspertów lub interesariuszy, w zależności od problemu. Specyficzna metoda opiera się na ocenie polityk i akcji/mikroakcji za pomocą średniej ważonej, biorąc pod uwagę niepewność i testując skuteczność różnych polityk i akcji/mikroakcji w odniesieniu do ocenianych scenariuszy (możliwych opcji). Ogólnie rzecz biorąc, celem analizy wielokryterialnej jest pomoc w podejmowaniu decyzji przez sporządzenie prostej i rozwijającej się siatki analitycznej różnych działań, mikrodziałań lub innych rozwiązań dostępnych dla decydenta (Godet 1999; Godet 2002, Panagiotopoulous i Stratigea 2014).

Podstawowe dane wejściowe w metodzie wielokryterialnej składają się z (Godet 2004, Stratigea i Giaoutzi 2012):

- **Kryteria** zdefiniowane jako wymierne aspekty oceny, dzięki którym wymiar różnych rozważanych możliwości wyboru może być scharakteryzowany (Voogd 1983). Są one uważane za podstawę każdego procesu oceny w celu oszacowania

wydajności alternatywnych scenariuszy, polityk i środków polityki w procesie analizy wielokryterialnej. Kryteria zastosowane w analizie wielokryterialnej odzwierciedlają kluczowe cele transformacji energetycznej zgodne z polityką UE. Bezpieczeństwo energetyczne oraz zasoby odnawialne stanowią fundament działań na rzecz neutralności klimatycznej i zwiększenia niezależności energetycznej UE. Koszt inwestycji i związane z nim benefity ekonomiczne podkreślają konieczność efektywnego wykorzystania środków unijnych, wspierających zrównoważony rozwój. Ważną rolę odgrywa również rozwój regionalny, którego celem jest zmniejszanie różnic społeczno-ekonomicznych między regionami. Wpływ na środowisko oraz tworzenie nowych miejsc pracy są kluczowymi elementami transformacji, promującymi ochronę ekosystemów i wspierającymi zatrudnienie w ramach zrównoważonej gospodarki. Kryteria te w pełni wpisują się w założenia Europejskiego Zielonego Ładu oraz polityki spójności UE.

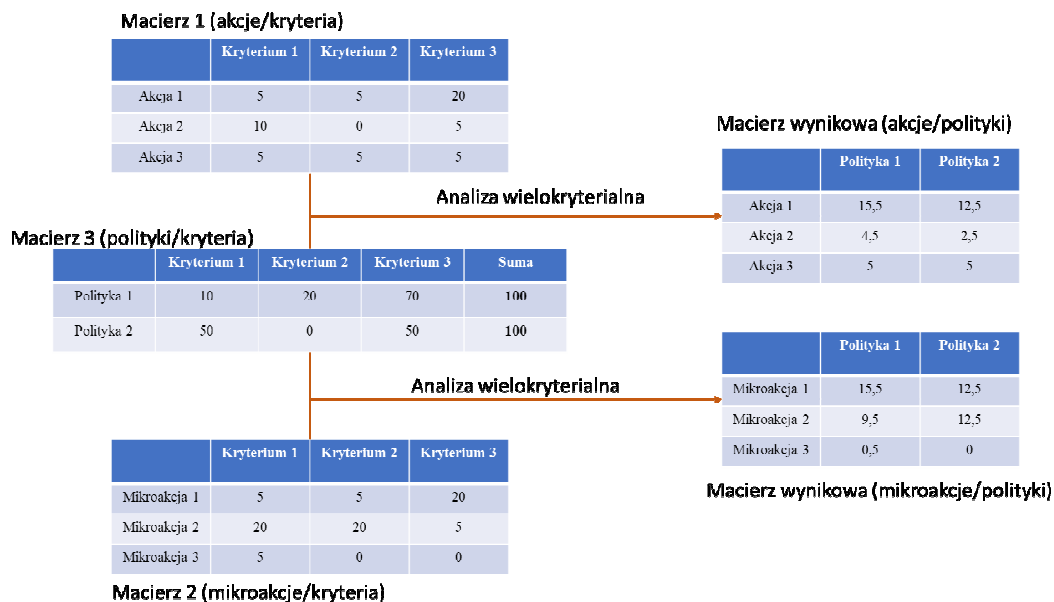
- **Akcje/Mikroakcje** zdefiniowane jako ustrukturyzowane przyszłe wydarzenia (Lindgren i Bandhold 2003, Ringland 2002, Robinson 1990, Schwartz 1991) w ramach, których osiągnane są cele i zadania wyznaczone dla danego systemu/problemu. W analizach uwzględniono akcje (które mogą być niezależnie realizowane w zamkniętej kopalni) i mikroakcje (jako działania towarzyszące akcjom i/lub mikroakcjom) opracowane podczas analizy morfologicznej w poprzednim etapie pracy.
- **Polityki** zdefiniowane jako strategie osiągnięcia celów i zadań w konkretnym działaniu planistycznym, które są ściśle związane z politycznym, społecznym, ekonomicznym i fizycznym kontekstem, w którym odbywa się ocena (Stratigea i Papadopoulou 2013b, Stratigea i Giaoutzi 2012). W analizach przyjęto polityki, które bezpośrednio odnoszą się do polityki Europejskiego Zielonego Ładu.

Jako dane wsadowe do analizy wielokryterialnej posłużyły trzy macierze:

- Macierz 1: Ocena znaczenia akcji w odniesieniu do kryteriów.
- Macierz 2: Ocena znaczenia mikroakcji w odniesieniu do kryteriów.
- Macierz 3: Ocena znaczenia polityk w odniesieniu do kryteriów.

Macierze są efektem badań eksperckich przeprowadzonych z wykorzystaniem metody Delphi. Przeprowadzono analizę akcji (macierz 1) oraz mikroakcji (macierz 2)

w odniesieniu do przyjętych kryteriów (rys. 5.3). Punktacja działań w odniesieniu do kryteriów wynosiła od 0 (brak związków akcja/kryterium lub mikroakcja/kryterium) do 20 (najsilniejszy związek). W tej analizie nie rozróżniano, czy relacja ma charakter pozytywny czy negatywny. Dokładną instrukcję wypełniania ankiet przez ekspertów wraz z macierzami zamieszczono w aneksie nr 4.



Rys. 5.3. Przykładowe macierze dla potrzeb analizy wielokryterialnej (opracowanie własne)

Pierwszym krokiem jest zdefiniowanie macierzy oceniającej akcje/mikroakcje w odniesieniu do kryteriów (macierz 1 i 2). Kolejnym krokiem jest określenie w jaki sposób kryteria wspierają realizację polityk (macierz 3). Aby uzyskać macierz akcje/polityki należy pomnożyć macierz akcje/kryteria (macierz 1) i macierz polityki/kryteria (macierz 3). Analogicznie, dla uzyskania macierzy mikroakcje/polityki należy pomnożyć macierz mikroakcje/kryteria (macierz 2) i macierz polityki/kryteria (macierz 3).

W macierzy 3 oceniano zależność założonych polityk w kontekście głównych założeń Europejskiego Zielonego Ładu w odniesieniu do przyjętych kryteriów (rys. 5.3). Suma zależności (wagi) każdej rozpatrywanej polityki w stosunku do wszystkich polityk musi równać się 100. Nie ma maksymalnego limitu wartości wprowadzonych wag – w skrajnym przypadku jedna waga równa się 100 (relacja polityki wyłącznie do jednego

kryterium), jeśli reszta relacji jest oceniana na 0 (brak relacji polityki do pozostałych kryteriów). W tej analizie również nie rozróżniano, czy relacja jest pozytywna czy negatywna.

Ocena dokonywana metodą wielokryterialną była oparta na wielu kryteriach oceny, wynikających z celu i założeń badania. Kryteria definiujące były wynikiem interakcji pomiędzy badaczami, ekspertami zewnętrznymi i interesariuszami, w kontekście procesu planowania partycypacyjnego, mającego na celu uchwycenie priorytetów i wcielenie ich do kolejnych procesów.

Uzyskane wyniki analizy wielokryterialnej (macierze wynikowe) są wykorzystywane do budowy opcji politycznych w celu osiągnięcia wyznaczonych celów. Wyniki oceny akcji/mikroakcji w kontekście polityk oraz oceny polityki w odniesieniu do kryteriów zostały przedstawione w formie:

- Tabeli wyników (macierzy wynikowej), obliczonych przez zastosowanie zestawu wag „macierzy oceny działań/mikroakcji związanych z kryteriami” do „macierzy polityk związanych z kryteriami”. W macierzy tej można również znaleźć inne informacje, takie jak średnia, odchylenie standardowe oraz ranking.
- Mapy czułości/wrażliwości, przedstawiającej wynik analizy wielokryterialnej (oś x) w odniesieniu do obliczonego odchylenia standardowego (oś y).
- Mapy bliskości - osiąganą przez analizę korespondencji (CA). Analiza ta jest wieloczynnikową techniką statystyczną zaproponowaną przez (Dodge, 2003). Jest ona koncepcyjnie podobna do analizy głównych składowych, ale ma zastosowanie do danych kategorycznych, a nie ciągłych. Jej zadaniem jest przedstawienie na dwuwymiarowej płaszczyźnie wszelkich struktur ukrytej w wielowymiarowym ustawieniu tabeli danych.

Przeprowadzone analizy oceny akcji i mikroakcji oraz ich wyniki pozwolą na wytypowanie najbardziej obiecujących działań/technologii możliwych do wprowadzenia w zamykanych kopalniach węgla. Do analizy wielokryterialnej wykorzystano oprogramowanie MULTIPOL w wersji 4.0.

5.5. Wybór modelu biznesowego

Wybór modelu biznesowego oparty jest na wcześniej opisanej metodyki, jakkolwiek w celu uzyskania szerszej perspektywy przeanalizowano również dodatkowe kryteria, które nie zostały w szczegółach uwzględnione w polityce Europejskiego Zielonego Ładu. Zaproponowanymi i wykorzystanymi dodatkowymi kryteriami oceny są:

- **Ocena wpływu kryteriów kluczowych na akcje i mikroakcje.** Uzyskane podczas analizy strukturalnej kryteria kluczowe stanowiły podstawę do opracowania scenariuszy (akcji oraz mikroakcji) podczas analizy morfologicznej. Z tego powodu, że odnosiły się one stricte do kopalni przed zamknięciem, w analizie wielokryterialnej przyjęto kryteria, które odnoszą się bezpośrednio do możliwości wdrożenia akcji/mikroakcji. Na tym etapie postanowiono jednak uwzględnić wpływ tych kryteriów kluczowych na akcje oraz mikroakcje. W opracowanych macierzach dokonano oceny wpływu kryteriów kluczowych na proponowane akcje i mikroakcje w skali od 0 (brak wpływu) do 20 (najsilniejszy wpływ). Gdy kryterium ma negatywny wpływ na akcje lub mikroakcje, wprowadzano wartość ujemną, (-20) określa najsilniejszy negatywny wpływ.
- **Ocena poziomu gotowości technologicznej (TRL)** każdej akcji oraz mikroakcji. Koncepcja TRL została pierwotnie opracowana przez National Aeronautics and Space Administration (NASA) w celu wspierania rozwoju technologii kosmicznych i umożliwienia skuteczniejszej oceny i lepszej komunikacji w zakresie poziomu zaawansowania nowych technologii. Program ramowy Unii Europejskiej w zakresie badań naukowych Horyzont 2020 wykorzystuje termin TRL do opisanie merytorycznego zakresu zaproszeń do składania projektów; podane definicje mają jednak charakter ogólnych wytycznych i nie odnoszą się konkretnie do produkcji i magazynowania energii odnawialnej. Ocena poziomu gotowości technologicznej (TRL) przeprowadzana jest w skali od 1 (technologia w fazie założeń projektowych) do 9 (technologia wdrożona w przemyśle). Ocena wartości tego aspektu dla wytypowanych akcji i mikroakcji zostanie przeprowadzona metodą ekspercką (metodą Delphi).
- Ze względu na jej istotność w analizach została również uwzględniona **taksonomia europejska**. Taksonomia UE to system klasyfikacji zrównoważonej środowiskowo działalności gospodarczej, stworzony z myślą o wspieraniu inwestorów w podejmowaniu decyzji dotyczących zielonych inwestycji. Obejmuje sześć celów

środowiskowych i precyzuje, w jaki sposób konkretne działania mogą przyczyniać się do ich realizacji. Aby działalność była zgodna z zasadami taksonomii, musi wspierać osiągnięcie przynajmniej jednego z tych celów, nie wyrządzając jednocześnie znaczących szkód pozostałym oraz spełniać minimalne standardy społeczne wynikające z międzynarodowych konwencji. Rozporządzenie w sprawie taksonomii zostało opublikowane 22 czerwca 2020 roku i weszło w życie 12 lipca tego samego roku (Rozporządzenie UE 2020/852, 2020a, 2020b). Artykuł 9 tego dokumentu szczegółowo definiuje cele klimatyczne i środowiskowe. Aby ułatwić wdrażanie taksonomii, opracowano platformę EU Taxonomy Navigator – stronę internetową oferującą praktyczne narzędzia, które pomagają w zrozumieniu zasad systemu, wspierając przedsiębiorstwa w realizacji ich obowiązków sprawozdawczych (Brown et al. 2018, Rozporządzenie UE 2020/852, 2020a, 2020b; Rozporządzenie UE 2023/2486, 2023; Rozporządzenie UE 2022/2014, 2022). Ocena wartości tego aspektu dla wytypowanych akcji i mikroakcji została przeprowadzona metodą ekspercką (metodą Delphi).

- Ocena **potencjału synergistycznego** (Brown i in., 2018; Tayebi-Khorami i in., 2019) zamykanej kopalni z otoczeniem (społeczeństwo lokalne, przemysł, energetyka). W tym celu będą badane modele biznesowe, które opierają się na energii odnawialnej i przyczyniają się do rozwoju gospodarki o obiegu zamkniętym lub magazynowania energii, gwarantując zrównoważone i połączone wykorzystanie aktywów, które w przeciwnym razie byłyby pomijane w warunkach likwidacji kopalni. Ocena wartości tego aspektu dla wytypowanych akcji oraz mikroakcji została przeprowadzona metodą ekspercką (metodą Delphi).
- Ocena potencjału do funkcjonowania na zasadach **gospodarki o obiegu zamkniętym** (Blinova i in., 2022; Pactwa i in., 2020), również będzie promowała akcje i mikroakcje, które w swojej specyfice odwołują się do takiego prowadzenia działań gospodarczych. Ocena wartości tego aspektu dla wytypowanych akcji oraz mikroakcji została przeprowadzona metodą ekspercką (metodą Delphi).
- Ocena możliwości **integracji/łączenia sektorów** (Ramsebner i in., 2021; Schaber i in., 2013) wydaje się być również istotna, gdyż obejmuje zwiększoną integrację sektorów końcowego wykorzystania i dostaw energii, poprawę wydajności i elastyczności systemu energetycznego, a także jego niezawodności i adekwatności. Integracja sektorów może obniżyć koszty procesu dekarbonizacji. Ocena wartości tego

aspektu dla wytypowanych akcji oraz mikroakcji została przeprowadzona metoda ekspercką (metodą Delphi).

5.6. Wskaźnikowa analiza wybranego modelu biznesowego

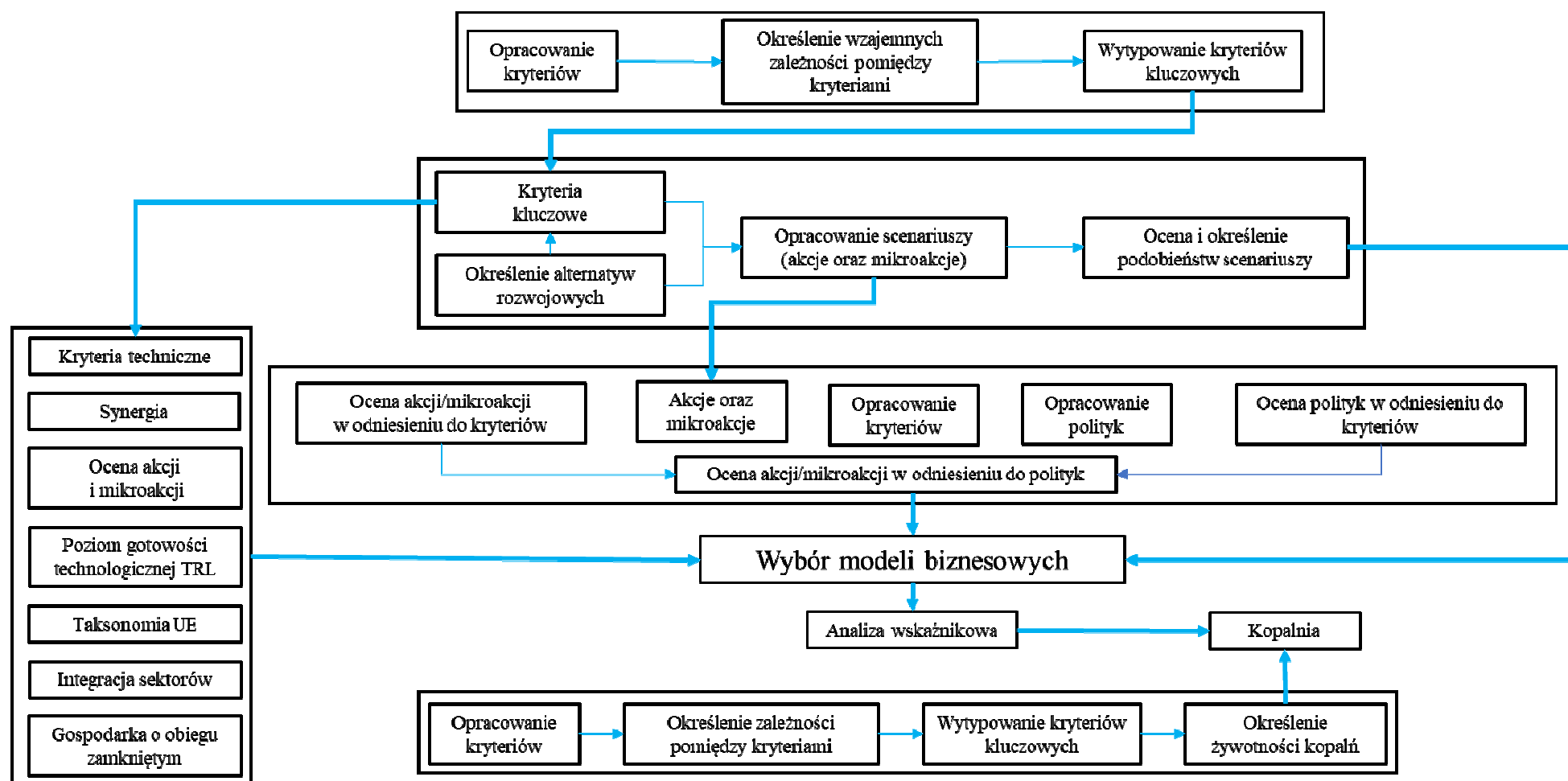
Ostatnim etapem badań była wskaźnikowa analiza wybranego modelu biznesowego, oparta na dokumencie „Opracowanie systemu wspólnych wskaźników dla interwencji Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego i Funduszu Spójności po 2020 r.”, w którym skoncentrowano się na głównych celach, określonych zgodnie z rozporządzeniami Unii Europejskiej nr 1300/2013, 1301/2013 i 1303/2013. Obejmują one następujące obszary:

1. Wspieranie badań, rozwoju technologicznego i innowacji (promowanie działalności badawczo-rozwojowej oraz wdrażanie nowych technologii i innowacyjnych rozwiązań w gospodarce).
2. Zwiększanie dostępu do technologii informacyjno-komunikacyjnych oraz ich wykorzystanie (poprawa infrastruktury cyfrowej i wspieranie wykorzystania technologii cyfrowych w różnych sektorach gospodarki).
3. Zwiększanie konkurencyjności małych i średnich przedsiębiorstw (wsparcie przez finansowanie, doradztwo i rozwój innowacyjnych modeli biznesowych).
4. Wspieranie przejścia na gospodarkę niskoemisyjną we wszystkich sektorach (promowanie odnawialnych źródeł energii, poprawa efektywności energetycznej i redukcja emisji gazów cieplarnianych).
5. Wspieranie procesów związanych ze zmianami klimatu oraz zapobieganie i zarządzanie związanym z tym ryzykiem (działania zmniejszające skutki zmian klimatycznych oraz poprawa zdolności reagowania na klęski żywiołowe i inne zagrożenia).
6. Ochrona i kształtowanie środowiska naturalnego oraz promowanie efektywnego gospodarowania zasobami (działania na rzecz ochrony przyrody, poprawy jakości powietrza, wody i gleby oraz efektywne wykorzystanie surowców).
7. Promowanie zrównoważonych środków transportu i usuwanie wąskich gardeł w infrastrukturze kluczowych sieci (rozwój ekologicznych środków transportu oraz poprawa przepustowości kluczowej infrastruktury transportowej).

8. Promowanie zrównoważonego i trwałego zatrudnienia oraz wspieranie mobilności pracowników (tworzenie miejsc pracy, wsparcie dla zatrudnienia oraz umożliwienie mobilności zawodowej).
9. Wspieranie integracji społecznej, walka z ubóstwem i dyskryminacją (działania na rzecz zmniejszania nierówności społecznych, wsparcie dla grup zagrożonych wykluczeniem i przeciwdziałanie dyskryminacji).
10. Inwestowanie w edukację, szkolenia i kursy zawodowe służące zdobywaniu umiejętności i uczenie się przez całe życie (finansowanie szkoleń, edukacji zawodowej i programów wspierających uczenie się przez całe życie).
11. Zwiększanie potencjału instytucjonalnego władz publicznych i zainteresowanych stron oraz skuteczności administracji publicznej oraz odpowiadające mu priorytety inwestycyjne (wzmacnianie kompetencji instytucji publicznych i poprawa jakości zarządzania na poziomie lokalnym i regionalnym).

Dla powyższych obszarów zostały opracowane wskaźniki rezultatów bezpośrednich, następnie poddane ocenie przez ekspertów z wykorzystaniem metody Delphi dla wybranych, perspektywicznych modeli biznesowych zbudowanych w oparciu o najbardziej obiecujące akcje oraz mikroakcje.

Przedstawione powyżej badania, analizy i działania zostały przedstawione w formie algorytmu na rysunku 5.4.



Rys. 5.4 Algorytm podjętych badań i analiz według przyjętej metodyki

6. Zmiana przeznaczenia zamykanych kopalń węgla kamiennego przez opracowanie modeli biznesowych opartych na energii odnawialnej i gospodarce o obiegu zamkniętym

Przedstawione w poprzednich rozdziałach analizy dotyczące restrukturyzacji górnictwa węglowego w Polsce oraz w państwach Europy Zachodniej oraz wykonane prognozy żywotności kopalń produkujących węgiel kamienny energetyczny, wykazały występowanie problemów związanych z odejściem od eksploatacji węgla.

Jednym z ważniejszych problemów związanych z restrukturyzacją przemysłu wydobywczego jest brak wykorzystania infrastruktury i zasobów zamykanych kopalń dla innych celów gospodarczych, takich jak produkcja i magazynowanie energii odnawialnej na zasadach gospodarki o obiegu zamkniętego.

W niniejszym rozdziale przedstawiono wyniki analiz dotyczących opracowania takich scenariuszy, których wdrożenie umożliwi dalszy rozwój gospodarczy przedsiębiorstw górniczych, oparty już nie na eksploatacji węgla, a na nowoczesnych technologiach.

W badaniach udział wzięło 40 ekspertów, w tym sześciu z Grecji, siedmiu z Niemiec, pięciu z Hiszpanii oraz 22 z Polski. Środowisko naukowo-badawcze było reprezentowane przez 32 ekspertów, natomiast ośmiu ekspertów było związanych z przemysłem wydobywczym (tabela 6.1). Doświadczenie ekspertów w działalności związanej z górnictwem węgla kamiennego wynosiło od 10 do ponad 40 lat. Kompetencje ekspertów obliczone jako K_k mieściły się w przedziale 0,6–1,0.

Tabela 6.1. Dane dotyczące ekspertów biorących udział w badaniach metodą Delphi

Lp.	Lata doświadczenia	Liczba ekspertów z instytucji naukowo-badawczych	Liczba ekspertów z przemysłu górniczego
1	10–20	12	0
2	21–30	12	4
3	30–40	6	4
4	> 40	2	0
Lp.	Wskaźnik kompetencji ekspertów K_k	Liczba ekspertów z instytucji naukowo-badawczych	Liczba ekspertów z przemysłu górniczego
1	0,5–0,6	4	1
2	0,7–0,8	16	4
3	0,9–1,0	12	3

6.1. Określanie kryteriów kluczowych dla opracowania scenariuszy wykorzystywania zasobów i infrastruktury zamykanych kopalń węgla

Dla określenia kryteriów kluczowych dla opracowania scenariuszy wykorzystania zasobów i infrastruktury zamykanych kopalń węgla przeprowadzono analizy strukturalne oparte na wynikach badań eksperckich uzyskanych z wykorzystaniem metody Delphi.

W analizach uwzględniono 38 kryteriów technicznych charakteryzujących poszczególne elementy kopalni węgla kamiennego, opracowanych przez autora, z uwzględnieniem uwag ekspertów biorących udział w badaniach.

Proces wyboru kryteriów składał się z dwóch rund badań Delphi, w których uczestniczyli eksperci z różnych krajów, reprezentujący środowiska zarówno naukowe, jak i gospodarcze. W pierwszej rundzie, po wstępnej analizie literatury, eksperci ocenili zaproponowane kryteria i zgłosili dodatkowe uwagi, uwzględniające różnorodne perspektywy i doświadczenia. Różnice w podejściu do niektórych tematów wynikały z odmiennych kontekstów regionalnych oraz specyfiki górnictwa w poszczególnych krajach. Wyniki pierwszej rundy zostały przeanalizowane i ujednolicone, a lista kryteriów zaktualizowana. W drugiej rundzie eksperci osiągnęli konsensus, tworząc ostateczny zestaw kryteriów, który uwzględniał zarówno zróżnicowane spojrzenia, jak i wspólne priorytety, co zapewniło jego merytoryczną wartość i praktyczną użyteczność.

Ze względu na szeroki zakres tematyczny kryteriów dokonano podziału na trzy podgrupy:

- kryteria przyjęte dla części podziemnej kopalni węgla kamiennego (16 kryteriów),
- kryteria przyjęte dla części powierzchniowej kopalni węgla kamiennego (8 kryteriów),
- kryteria przyjęte dla synergii kopalni z otoczeniem (14 kryteriów).

6.1.1. Określanie kryteriów kluczowych dla części podziemnej kopalni węgla kamiennego

Dla określania kryteriów kluczowych dla podziemnej części kopalni węgla kamiennego została przeprowadzona analiza strukturalna, w której uwzględniono następujące kryteria:

1. Kryterium **głębokości kopalni** zostało zdefiniowane jako maksymalna głębokość wyrobisk dołowych, które można wykorzystać dla potrzeb związanych z nową działalnością (Konopko, 2010). W warunkach polskich podziemna eksploatacja węgla jest prowadzona na głębokościach od 400 do około 1200 m, średnia głębokość eksploatacji wynosi około 800 m (Frejowski i in., 2021).
2. Kryterium **stateczności powierzchni na terenie górniczym** określa możliwe poeksploatacyjne ruchy górotworu, wpływające na wyrobiska podziemne/ zbiorniki/szyby i infrastrukturę powierzchniową po zakończeniu eksploatacji.
3. Kryterium **zaburzeń geologicznych w złożu węgla kamiennego** zdefiniowane jest jako występowanie w otoczeniu wyrobisk podziemnych kopalni nieprzepuszczalnych skał/kompleksów skalnych lub brak zaburzeń nieciągłych. Brak występowania zaburzeń geologicznych/skał przepuszczalnych pozwala na wykorzystanie wyrobisk podziemnych jako na przykład zbiorników do przechowywania różnych materiałów stałych, ciekłych lub gazowych. Ważne jest, aby wyrobiska, przeznaczone do tego celu, były otoczone nieprzepuszczalnymi skałami i aby w ich pobliżu nie było uskoków ani innych nieciągłości – co znacznie

ograniczy niepożądaną migrację/mieszanie się cieczy i gazów (Zorychta i Burtan, 2008).

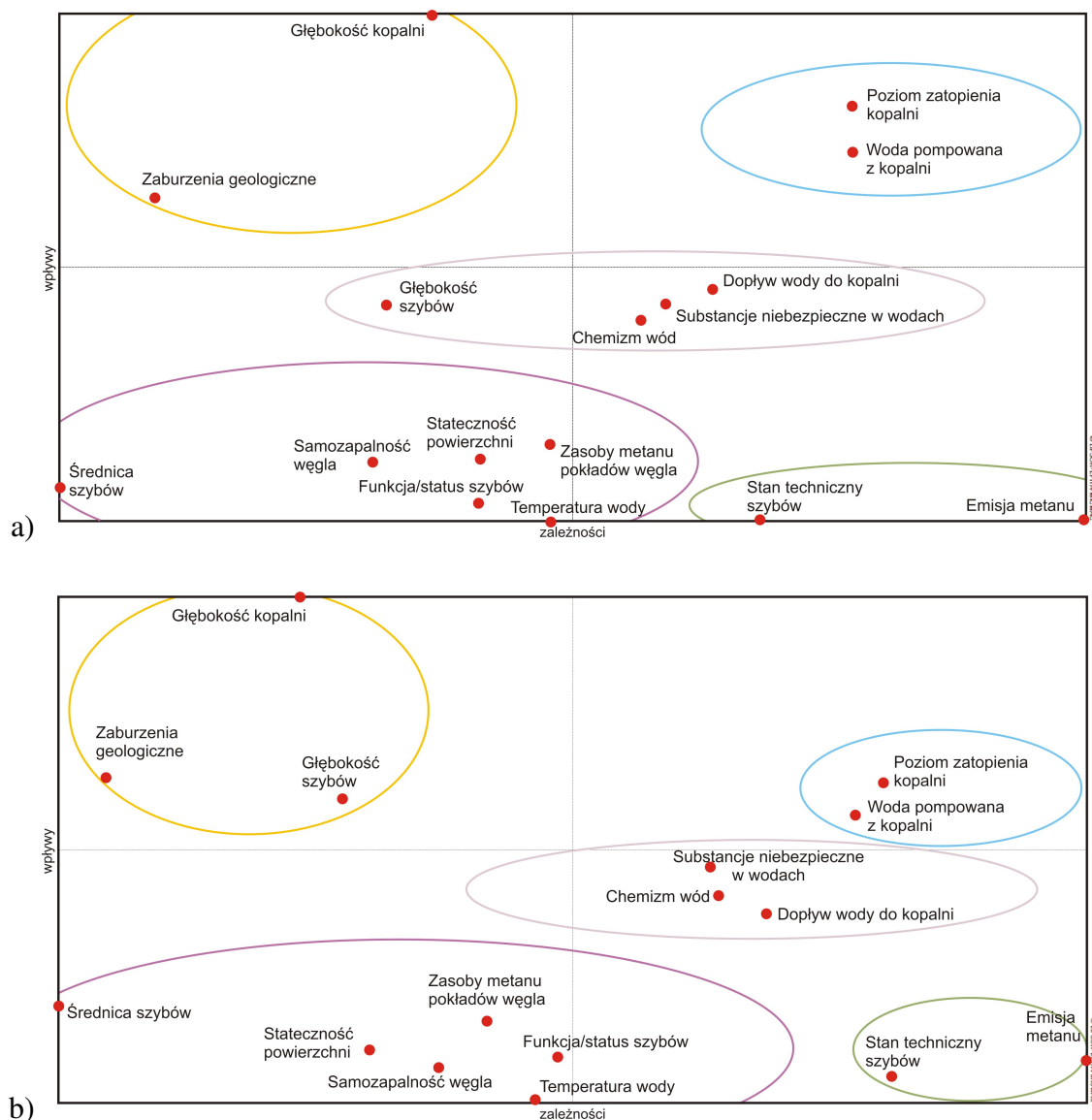
4. Kryterium **emisji metanu na powierzchnię** zdefiniowane jako stężenie, przepływ i prognozowana emisja metanu ze zrobów na powierzchnię. Kryterium to dotyczy metanu który może pojawiać się na powierzchni po zamknięciu kopalni (Duda i Krzemień 2018; Krause i Krzemień 2014; Krause i Pokryszka 2013).
5. Kryterium wielkości **zasobów metanu pokładów węgla** zostało zdefiniowane, jako ilość zasobów metanu, jako kopaliny towarzyszącej pokładom węgla kamiennego, które mogą być przedmiotem eksploatacji po zakończeniu wydobywania węgla (Hadro i Wójcik, 2013).
6. Kryterium **samozapalności węgla** zdefiniowane jako zdolność węgla do samozapłonu, zarówno w pokładzie węgla, jak i w skale zdeponowanej w obiektach unieszkodliwiania odpadów wydobywczych (OUOW).
7. Kryterium **wody pompowanej z kopalni** zdefiniowane jako jakość i ilość wody wypompowywanej z wyrobisk podziemnych kopalni na powierzchnię w jednostce czasu (Czapnik i in., 2009; Matysik, 2014).
8. Kryterium **chemizmu wód kopalnianych**, określone jako średnia zawartość substancji mineralnej w wodach podziemnych w kopalni, która jest związana zarówno z głębokością, jak i budową litologiczną nadkładu złoża (Frejowski, 2006; Matysik, 2014).
9. Kryterium **substancji niebezpiecznych w wodach kopalnianych** zdefiniowane jako zawartość substancji niebezpiecznych w pompowanych wodach kopalnianych (Frejowski, 2006; Matysik, 2014).
10. Kryterium **głębokości szybów kopalnianych** określane jako maksymalna głębokość dostępnych z powierzchni szybów kopalnianych (Szymała i in., 2022).
11. Kryterium **średnicy szybów kopalniach** zdefiniowane, jako średnica dostępnych z powierzchni szybów kopalnianych (Szymała i in., 2022). W niektórych przypadkach średnica szybu będzie determinować jego wykorzystanie dla danej technologii (im szerszy szyb, tym więcej miejsca można przeznaczyć na instalację

urządzeń/maszyn). Większość szybów w polskich kopalniach węgla ma średnicę od 3,0 do 8,0 m.

12. Kryterium **stanu technicznego szybów kopalnianych** zdefiniowane jako możliwość wykorzystania szybu pod względem jego stanu technicznego (Frużyński, 2012; Szymała i in., 2022). Stan techniczny szybu może być: dobry (niewymagający napraw), średni (wymagana drobna naprawa – drobne pęknięcia obudowy, ubytki w strukturze obudowy) lub zły (stan techniczny jest niebezpieczny dla stabilności szybu i ogólnego bezpieczeństwa). Polskie przepisy wymagają przeprowadzania okresowych kontroli stanu technicznego szybów, gdyż ma on istotny wpływ na bezpieczeństwo, a zły stan techniczny szybu może wykluczyć jego dalsze użytkowanie.
13. Kryterium **funkcji/statusu szybu kopalnianego** określające funkcję lub status szybu kopalnianego – zjazdowy, wydobywczy, wentylacyjny, peryferyjny (Frużyński, 2012; Szymała i in., 2022). W związku z koniecznością odwadniania zlikwidowanych kopalń graniczących z kopalniami czynnymi niektóre szyby są wykorzystywane jako pompownie i w związku z tym nie można ich ani zlikwidować ani zmienić ich przeznaczenia (Czapnik i in., 2009). Również ponowne otwarcie zlikwidowanych szybów jest od strony zarówno technicznej, jak i ekonomicznej w większości przypadków niemożliwe.
14. Kryterium **dopływu wody do kopalni** zdefiniowane, jako ilość wody w metrach sześciennych, która dopływa do wyrobisk podziemnych kopalni w jednostce czasu (Matysik, 2014). W warunkach górnictwa węglowego na obszarze GZW największe naturalne dopływy wód do wyrobisk kopalnianych mają kopalnie znajdujące się we wschodniej części zagłębia (pokłady w warstwach krakowskiej serii piaskowcowej) w rejonie Wisły (Frejowski, 2006).
15. Kryterium **temperatury wody**, określające temperaturę pompowanych wód kopalnianych z wyrobisk dołowych na powierzchnię, które ma istotne znaczenie w przypadku wykorzystywania wód kopalnianych, jako odnawialnych źródeł energii (Solik-Heliasz, 2002; Tokarz i Mucha, 2013).
16. Kryterium **poziomu zatopienia kopalni** określające do jakiego poziomu kopalnia jest/może być zatopiona. Kopalnia może być zatopiona do pewnego poziomu, w skrajnym przypadku może być całkowicie zatopiona. Kryterium jest istotne ze względu na możliwość wystąpienia zagrożenia wodnego dla innych kopalń, a także

na możliwość wykorzystania, w innych celach, zatopionych zrobów i wyrobisk kopalnianych (Bondaruk i in., 2015; Czapnik i in., 2009; Janson, 2008).

Macierz wyników wpływów bezpośrednich (z oceny eksperckiej) zestawiono w aneksie nr 5. Na rysunku 6.1 przedstawiono wyniki analizy strukturalnej wykonanej metodą wpływów bezpośrednich (rys. 6.1a) i wpływów pośrednich (rys. 6.1b) dla kryteriów przyjętych dla podziemnej części kopalni.



Rys. 6.1. Mapa zależności i wpływów kryteriów przyjętych dla części podziemnej kopalni węgla kamiennego: a) dla wpływów bezpośrednich, b) dla wpływów pośrednich (opracowanie własne)

Kryteria przyjęte dla części podziemnej kopalni węgla znajdujące się w I ćwiartce (ćwiartka górna prawa) można zakwalifikować do kryteriów kluczowych (zaznaczonych niebieską elipsą). Jest to kryterium „Woda pompowana z kopalni” i „Poziom zatopienia kopalni”. Są to kryteria, które należy wziąć pod uwagę opracowując scenariusze przyszłego wykorzystania infrastruktury i zasobów kopalni. Nie ma w tym przypadku różnicy między wynikami analizy strukturalnej wykonanej metodą wpływów bezpośrednich i pośrednich.

Na podstawie analizy strukturalnej wykonanej metodą wpływów pośrednich, znajdujące się w II ćwiartce (ćwiartka górna lewa) kryteria „Głębokość kopalni”, „Zaburzenia geologiczne” i „Głębokość szybów”, można zakwalifikować do grupy czynników determinantów, określających niezmiennie/stałe cechy systemu (zaznaczone żółtą elipsą).

Kryteria „Stateczność powierzchni”, „Zasoby metanu pokładów węgla”, „Samozapalność węgla”, „Średnica szybów”, „Funkcja/status szybów” oraz „Temperatura wody”, znajdujące się w III ćwiartce (ćwiartka dolna lewa – zaznaczone fioletową linią) na podstawie wyników analizy strukturalnej metodą wpływów pośrednich można zaliczyć do czynników niezależnych/autonomicznych, których można nie uwzględniać w dalszych analizach.

Zawarte w IV ćwiartce (ćwiartka dolna prawa) kryteria „Emisja metanu” i „Stan techniczny szybów” to czynniki rezultaty, charakteryzujące się dużą zależnością od pozostałych kryteriów, przy jednocześnie małym na nich wpływie (zaznaczone zieloną elipsą).

Kryteria „Chemizm wód”, „Substancje niebezpieczne w wodach” i „Dopływ wody do kopalni”, które są zgrupowane w środkowej części układu, zakwalifikowano do czynników regulujących system (średni wpływ i średnia zależność względem pozostałych kryteriów – zaznaczone szarą elipsą).

W tabeli 6.2 zestawiono wyniki analizy strukturalnej wykonanej metodą wpływów pośrednich dla kryteriów przyjętych dla podziemnej częścią kopalni.

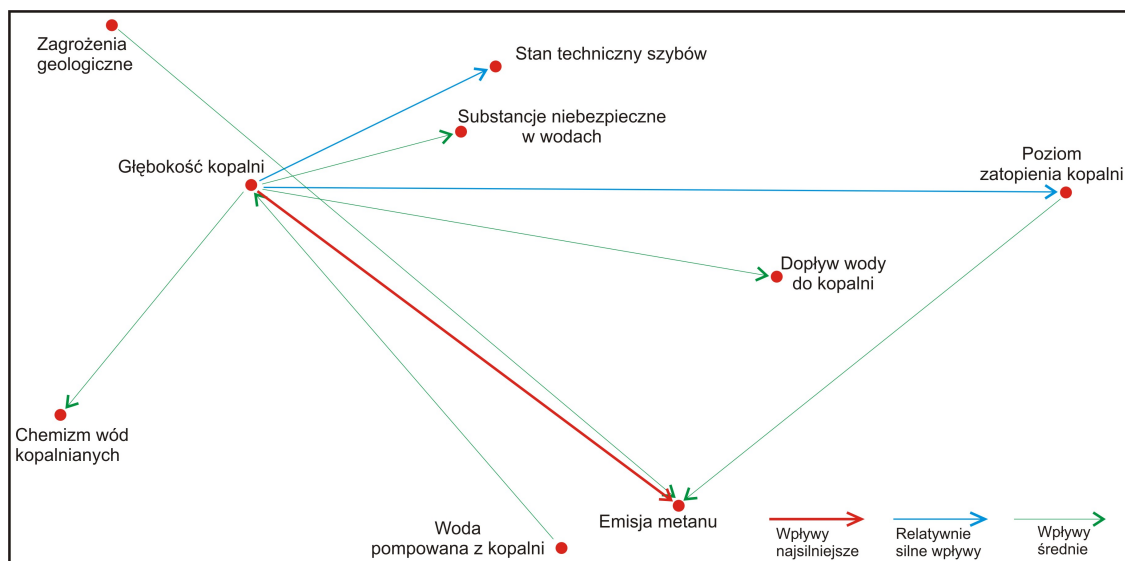
Przeprowadzona analiza strukturalna dla kryteriów przyjętych dla części podziemnej kopalni wykazała, że kluczowymi kryteriami są „Poziom zatopienia kopalni” i „Woda

pompowana z kopalni”. Kryteria te mają istotny wpływ na możliwości i sposób wykorzystania zasobów oraz infrastruktury części dołowej zamykanych kopalń węgla kamiennego. Ich znaczenie jest szczególnie widoczne w przypadku przedsięwzięć opartych na wykorzystywaniu wód kopalnianych, takich jak produkcja ciepła czy wodoru.

Tabela 6.2. Macierz wpływów pośrednich kryteriów przyjętych dla części podziemnej kopalni węgla kamiennego – na czerwono wpływy najsilniejsze, na niebiesko wpływy relatywnie silne (opracowanie własne)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1. Głębokość kopalni	1914	2484	411	6922	2959	2691	5075	4609	4334	1994	137	5614	3702	4723	4058	5569
2. Stateczność powierzchni na terenie górniczym	185	281	51	724	330	290	540	485	479	217	17	602	399	516	439	583
3. Zaburzenia geologiczne w złożu węgla kamiennego	1077	1586	399	4437	1955	1702	3316	2784	2900	1336	133	3534	2272	3104	2686	3615
4. Emisja metanu na powierzchnię	137	223	75	594	275	227	445	353	400	197	25	453	292	425	370	479
5. Zasoby metanu pokładów węgla	327	313	24	895	360	354	639	603	497	251	8	693	468	557	478	695
6 . Samozapalność węgla	149	190	21	622	238	237	460	416	373	164	7	520	335	415	352	509
7. Woda pompowana z kopalni	893	1315	255	3758	1586	1449	2796	2498	2380	1097	85	3116	2006	2597	2225	3081
8. Chemizm wód kopalnianych	682	1005	174	2798	1221	1088	2074	1852	1836	793	58	2312	1532	1977	1693	2263
9. Substancje niebezpieczne w wodach kopalnianych	798	1121	180	3152	1391	1260	2401	2064	2092	889	60	2661	1740	2251	1914	2537
10. Głębokość szybów	1006	1526	378	4120	1863	1598	3072	2597	2740	1262	126	3288	2146	2932	2526	3326
11. Średnica szybów	324	493	120	1285	602	508	970	808	878	399	40	1032	681	936	803	1024
12. Stan techniczny szybów	85	118	18	325	150	126	241	207	229	82	6	265	179	238	205	262
13. Funkcja/status szybów	70	93	18	286	112	102	198	188	172	73	6	223	143	182	162	245
14. Dopływ wody do kopalni	673	927	135	2535	1118	1030	1928	1694	1645	745	45	2145	1416	1801	1516	2008
15. Temperatura pompowanych wód kopalnianych	6	6	0	31	8	13	26	22	14	10	0	29	18	18	15	24
16. Poziom zatopienia kopalni	1099	1521	306	4416	1862	1679	3253	2858	2795	1253	102	3555	2297	3013	2605	3621

Na rysunku 6.2 przedstawiono wybrane, najsilniejsze/najistotniejsze wpływy pośrednie między rozpatrywanymi kryteriami.



Rys. 6.2. Wykres wpływów pośrednich kryteriów przyjętych dla części podziemnej kopalni węgla kamiennego (opracowanie własne)

Najsilniejsze wpływy pośrednie zachodzą pomiędzy kryteriami „Emisja metanu” i „Głębokość kopalni”. Wraz ze wzrostem głębokości wzrasta metanonośność pokładów węgla (Krause, 2003), należy więc, planując nową działalność gospodarczą na terenach możliwej emisji metanu na powierzchnie uwzględnić również ten czynnik.

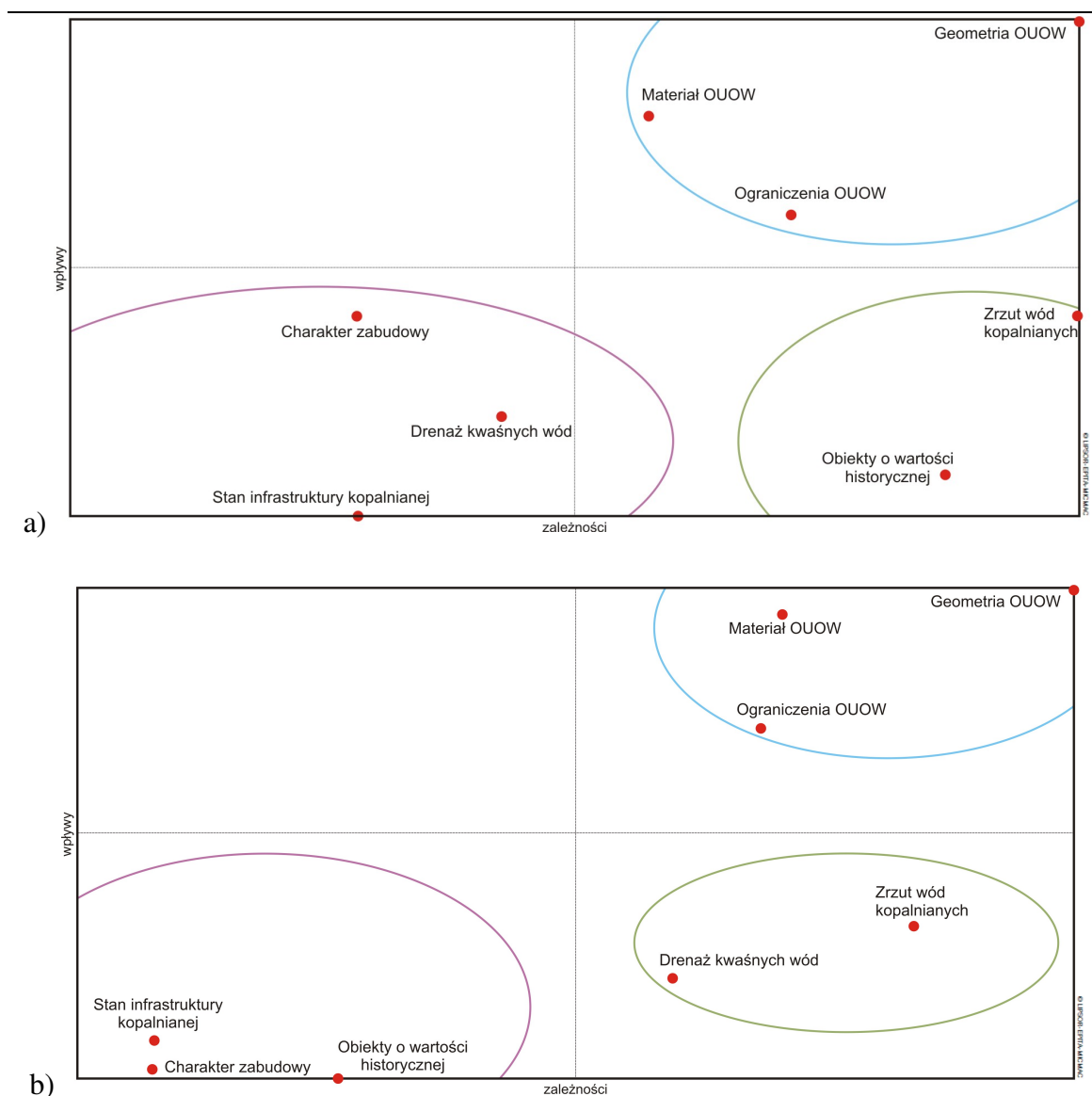
6.1.2. Określanie kryteriów kluczowych dla części powierzchniowej kopalni węgla kamiennego

Dla określania kryteriów kluczowych dla powierzchniowej części kopalni węgla kamiennego została przeprowadzona analiza strukturalna, w której uwzględniono następujące kryteria:

17. Kryterium **stanu infrastruktury kopalnianej** zdefiniowane jako stan techniczny infrastruktury kopalnianej na powierzchni – możliwości jego pełnego wykorzystania, opcjonalnie konieczność naprawy lub wyburzenia (Chmiela, 2022).
18. Kryterium **charakteru zabudowy** dotyczy wielkości zakładu głównego kopalni, charakteru jego zabudowy, ilości i wielkości budynków oraz ich rozmieszczenia przestrzennego.

19. Kryterium **obiektów o wartości historycznej** określa czy, i które elementy infrastruktury kopalnianej mają wartość historyczną. W takim przypadku ograniczona jest możliwość ich modyfikacji dla nowego przeznaczenia. Jednocześnie mogą one stanowić atrakcję turystyczną.
20. Kryterium **materiałów zdeponowanych na obiektach unieszkodliwiania odpadów wydobywczych (OUOW)** dotyczy specyficznych cech fizykochemicznych materiałów, które są składowane na OUOW, czy są rozdzielone (odpady wydobywcze oraz odpady z przeróbki węgla) lub zmieszane (Gawor i in., 2014; Nowak i Frejowski, 2007).
21. Kryterium **geometrii obiektów unieszkodliwiania odpadów wydobywczych (OUOW)** zdefiniowane jako wielkość ich powierzchni, a także ich parametry geometryczne, takie jak kształt, wysokość czy kąt nasypu (Róžański i in., 2022).
22. Kryterium **ograniczenia wykorzystania obiektów unieszkodliwiania odpadów wydobywczych (OUOW)** związane z możliwymi utrudnieniami wynikającymi bądź z występowania zagrożenia pożarowego/gazowego (Drenda i in., 2007; Róžański i in., 2022), bądź z ich rekultywacją OUOW (Gawor i in., 2013; Radosz i in., 2023) lub innymi ograniczeniami środowiskowymi.
23. Kryterium **zrzutu wód kopalnianych** dotyczy wpływu działalności górniczej na wody powierzchniowe przez zrzut wód kopalnianych do powierzchniowej sieci hydrograficznej. Kopalnie zlokalizowane na obszarze GZW odprowadzają swoje wody kopalniane zarówno do dorzecza Odry, jak i Wisły. Jest to istotne kryterium o charakterze środowiskowym (Bondaruk i in., 2015; Matysik, 2014).
24. Kryterium **drenażu kwaśnych wód** dotyczy wpływu warunków atmosferycznych, w tym głównie opadów deszczu, na formowanie się zjawisk związanych z drenażem kwaśnych wód płynących w zgromadzonym materiale w OUOW (Johnson i Hallberg, 2005; Johnston i in., 2008).

Macierz wyników wpływów bezpośrednich (z oceny eksperckiej) zestawiono w aneksie nr 5. Na rysunku 6.3 przedstawiono wyniki analizy strukturalnej wykonanej metodą wpływów bezpośrednich (rysunek 6.3a) i wpływów pośrednich (rysunek 6.3b) dla kryteriów przyjętych dla powierzchniowej części kopalni.



Rys. 6.3. Mapa zależności i wpływów kryteriów przyjętych dla części powierzchniowej kopalni węgla kamiennego: a) dla wpływów bezpośrednich, b) dla wpływów pośrednich (opracowanie własne)

Kryteria przyjęte dla części powierzchniowej kopalni węgla znajdujące się w I ćwiartce (ćwiartka górna prawa) można zakwalifikować do kryteriów kluczowych (zaznaczonych niebieską elipsą). Są to kryteria „Geometria OUOW”, „Materiał OUOW” i „Ograniczenia OUOW”. Nie ma w tym przypadku różnicy między wynikami analizy strukturalnej wykonanej metodą wpływów bezpośrednich i pośrednich.

Na podstawie analizy strukturalnej metodą wpływów pośrednich kryteria „Charakter zabudowy”, „Obiekty o wartości historycznej” i „Stan infrastruktury kopalnianej” –

które są zgrupowane w III ćwiartce (dolna lewa) zakwalifikowano do kryteriów niezależnych (słaby wpływ i słaba zależność względem pozostałych kryteriów – zaznaczone fioletową elipsą).

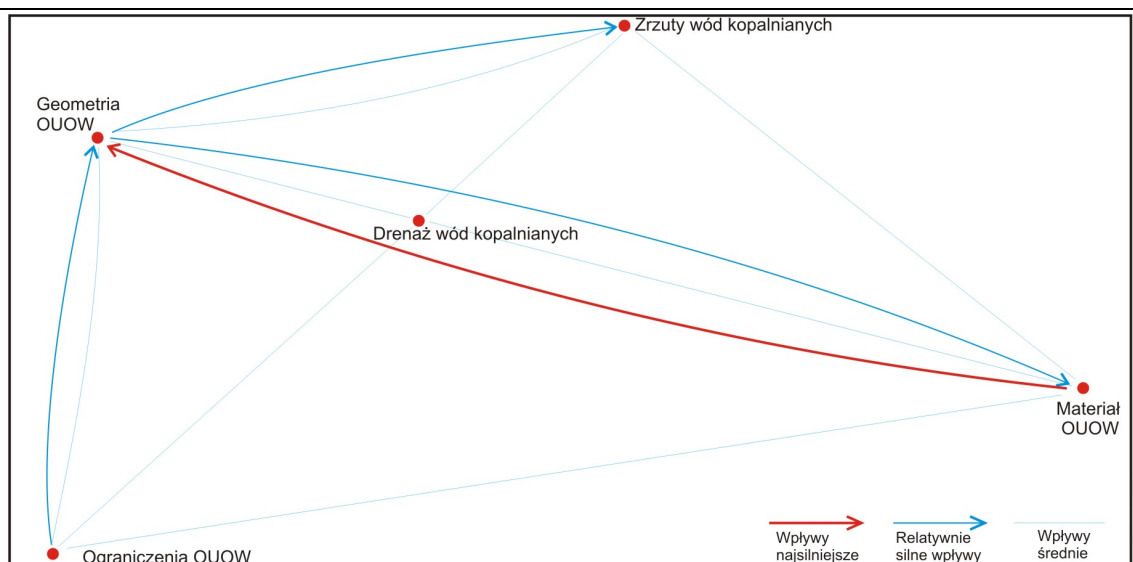
Na podstawie analizy strukturalnej metodą wpływów pośrednich znajdujące się w IV ćwiartce (ćwiartka dolna prawa) kryteria „Zrzut wód kopalnianych” i „Drenaż kwaśnych wód” zaliczono do kryteriów rezultatów, charakteryzujących się dużą zależnością od pozostałych kryteriów, przy jednocześnie małym na nich wpływie (zaznaczone zieloną elipsą).

W tabeli 6.3 przedstawiono wyniki analizy strukturalnej wykonanej dla wpływów pośrednich.

*Tabela 6.3. Macierz wpływów pośrednich kryteriów przyjętych dla części
powierzchniowej kopalni węgla kamiennego – na czerwono wpływy najsilniejsze, na
niebiesko wpływy relatywnie silne (opracowanie własne)*

Kryterium	17	18	19	20	21	22	23	24
17. Stan infrastruktury kopalnianej	21	22	45	90	49	54	88	39
18. Charakter zabudowy	31	30	66	18	30	18	31	18
19. Obiekty o wartości historycznej	25	25	27	6	30	14	19	18
20. Materiał OUOW	66	66	228	714	1257	796	923	594
21. Geometria OUOW	54	54	312	1095	955	830	1074	525
22. Ograniczenia OUOW	48	48	186	456	1049	596	689	474
23. Zrzut wód kopalnianych	36	36	78	168	490	260	286	246
24. Drenaż kwaśnych wód	20	20	96	207	205	162	210	111

Na rysunku 6.4 przedstawiono wybrane, najsilniejsze/najistotniejsze wpływy pośrednie pomiędzy rozpatrywanymi kryteriami.



Rys. 6.4. Wykres wpływów pośrednich kryteriów przyjętych dla części powierzchniowej kopalni węgla kamiennego (opracowanie własne)

Najsilniejszy wpływ pośredni zachodzi między kryteriami krytycznymi „Materiał OUOW” i „Geometria OUOW”, co wskazuje na to, że właściwości deponowanych odpadów mają fundamentalne znaczenie dla sposobu, w jaki należy zaplanować kształt, wielkość i konstrukcję OUOW.

Kryteria „Geometria OUOW”, „Materiał OUOW” i „Ograniczenia OUOW” są kluczowe zarówno w analizie morfologicznej, jak i w kontekście „dawania kopalniom nowego życia” w duchu zrównoważonego rozwoju. Geometria OUOW determinuje stabilność i funkcjonalność obiektów, co jest istotne nie tylko dla minimalizacji oddziaływań środowiskowych, takich jak emisja gazów, ale także dla ich przekształcenia w nowe przestrzenie, np. pod farmy fotowoltaiczne lub wiatrowe. Materiał OUOW określa właściwości odpadów, które mogą zostać ponownie wykorzystane, na przykład w budownictwie, wpisując się w założenia gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ). Ograniczenia OUOW uwzględniają techniczne i środowiskowe uwarunkowania, które wpływają na wybór optymalnych rozwiązań konstrukcyjnych i zarządczych. Dzięki tym kryteriom możliwe jest precyzyjne projektowanie i zarządzanie obiektami, które mogą stać się fundamentem dla nowej funkcji kopalni, takiej jak centra energii odnawialnej, tereny rekultywacyjne czy obszary edukacyjne. Ich uwzględnienie wspiera zrównoważone wykorzystanie zasobów

i zmniejsza ryzyko problemów konstrukcyjnych i ekologicznych, przyczyniając się do transformacji kopalni w nowoczesne i ekologiczne przestrzenie.

6.1.3. Określanie kryteriów kluczowych dla otoczenia kopalni węgla kamiennego

Przeprowadzono analizę strukturalną wzajemnych wpływów, zarówno bezpośrednich, jak i pośrednich, między czternastoma kryteriami przyjętymi dla otoczenia kopalni węgla. Analiza ta została wykonana w kontekście synergii między otoczeniem kopalni a nowym zagospodarowaniem infrastruktury i zasobów pokopalnianych. Kryteria przyjęte dla otoczenia kopalni zostały opracowane przy współudziale ekspertów na zasadzie „burzy mózgów” (eksperci wg tabeli 6.1).

W analizach uwzględniono:

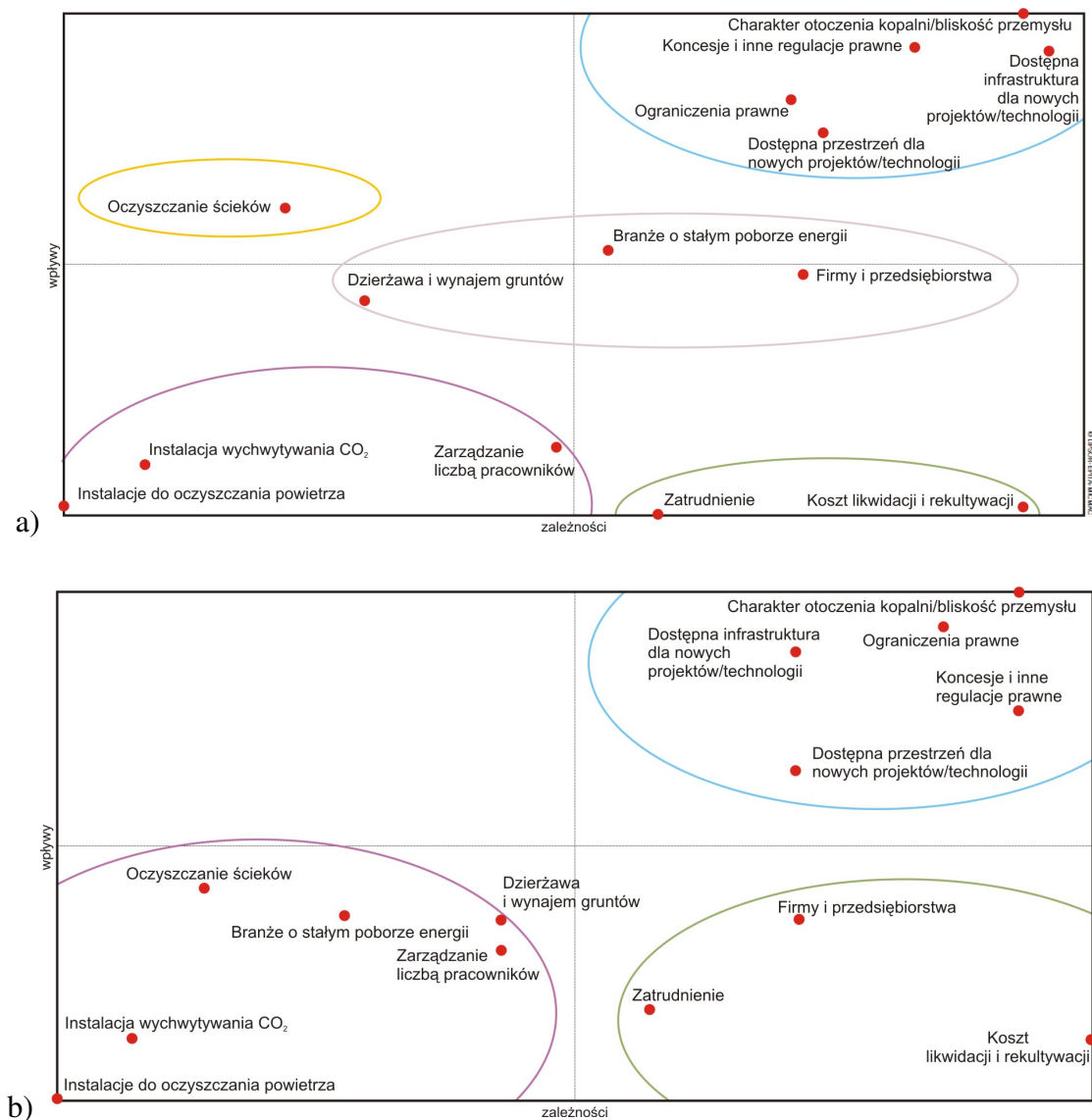
25. Kryterium **instalacji oczyszczania powietrza** zdefiniowane jako możliwość wykorzystania systemów oczyszczania powietrza (odsiarczania, redukcji tlenków azotu NO_x itp.) w pobliskiej elektrowni, kotłowni lub ciepłowni opartej na spalaniu węgla, która była powiązana z likwidowaną kopalnią. Celem jest przystosowanie tych instalacji do planowanej nowej działalności gospodarczej na tym obszarze (Dyrektywa UE 2000/60/WE, 2000a).
26. Kryterium **instalacji wychwytywania CO₂** zdefiniowane jako możliwość wykorzystania systemów wychwytywania CO₂ w pobliskiej elektrowni, kotłowni lub ciepłowni opartej na spalaniu węgla, związanej z likwidowaną kopalnią. Celem jest przystosowanie tych instalacji do planowanej nowej działalności gospodarczej na tym obszarze (Dyrektywa UE 2018/410, 2018; Dz.U. 2015 poz. 478, 2015; Rozporządzenie UE 2020/852, 2020a).
27. Kryterium **oczyszczania ścieków** zdefiniowane jako możliwość wykorzystania istniejących w pobliżu kopalni oczyszczalni ścieków i związanych z nimi technologii do obsługi nowej działalności gospodarczej na terenie likwidowanej kopalni (Dyrektywa UE 2000/60/WE, 2000a, 2000b).
28. Kryterium **kosztów likwidacji i rekultywacji** zdefiniowane jako koszty likwidacji i rekultywacji uwzględniające wszystkie wydatki, które mogą powstać w wyniku rozdzielenia infrastruktury, likwidacji odpadów i materiałów niebezpiecznych, rozbiórki konstrukcji, odzysku złomu oraz przywrócenia do stanu bezpiecznego dla

środowiska terenu zakładu, który ma być włączony do nowej działalności gospodarczej w ramach zamykanej kopalni węgla kamiennego.

29. Kryterium **ograniczeń prawnych** użytkowania gruntów zdefiniowane jako zbiór istniejących regulacji prawnych, które wpływają na sposób zagospodarowania gruntów pokopalnianych, wykraczających poza regulacje dotyczące obszarów zdegradowanych, takich jak OUOW. Kryterium to obejmuje zarówno ograniczenia wprowadzone po zakończeniu działalności górniczej, jak i te wynikające z funkcjonowania lub lokalizacji obiektów gospodarczych w bezpośrednim sąsiedztwie kopalni (Dz.U. 2003 Nr 8 poz. 717, 2003).
30. Kryterium **charakteru otoczenia kopalni/bliskości przemysłu** zdefiniowane jako charakterystyka przestrzeni otaczającej teren pokopalniany, z uwzględnieniem jego dominującego charakteru (np. miejskiego, rolniczego, przemysłowego, rekreacyjnego) oraz odległości do zakładów przemysłowych, które mogą korzystać z produkowanej energii odnawialnej.
31. Kryterium **dostępnej infrastruktury dla nowych projektów/technologii** dotyczy analizy i oceny dostępności istniejącej infrastruktury technicznej, przemysłowej i społecznej w zamykanej kopalni i jej otoczeniu, która może zostać wykorzystana w realizacji planowanych przedsięwzięć. To kryterium uwzględnia zarówno fizyczną obecność infrastruktury, jak i jej stan, funkcjonalność oraz potencjał adaptacyjny, co ma wpływ na możliwość wdrażania nowych technologii i projektów.
32. Kryterium **koncesji i innych regulacji prawnych** określa konieczność uzyskania i/lub dostępność koncesji na wytwarzanie energii ze źródeł odnawialnych (OZE), wykorzystując zasoby i infrastrukturę zamykanej kopalni, koszty z nich wynikające oraz inne potencjalne regulacje prawne (Dz.U. 2015 poz. 478, 2015; Dz.U. 2021 poz. 1093, 2021; Dz. U. 1997 Nr 54 poz. 348, 1997).
33. Kryterium **zatrudnienia** dotyczy potencjału rozwoju zatrudnienia w zakładach, które mogą funkcjonować na zasadzie synergii z nowymi projektami i technologiami wdrażanymi na terenie zamykanej kopalni węgla kamiennego. Kryterium to uwzględnia zarówno bezpośrednie miejsca pracy tworzone przez nowe inwestycje, jak i pośrednie możliwości zatrudnienia wynikające z interakcji z otoczeniem gospodarczym kopalni.

34. Kryterium **zarządzania liczbą pracowników** dotyczy planowania i wdrażania strategii umożliwiających elastyczne dostosowanie poziomu zatrudnienia w zakładach współpracujących z nowymi projektami i technologiami realizowanymi na terenach zamykanej kopalni węgla kamiennego. Celem tego kryterium jest minimalizacja ryzyka konieczności przeprowadzania zwolnień grupowych przez zastosowanie takich rozwiązań, jak wcześniejsze emerytury, urlopy długoterminowe, programy dobrowolnych odejść oraz inne formy wsparcia dostosowane do potrzeb pracowników.
35. Kryterium **dzierżawy i wynajmu gruntów** dotyczy możliwej konieczności wykorzystania dodatkowych terenów przez dzierżawę, wynajem lub zakup gruntów, w celu realizacji nowych projektów i technologii na obszarze zamkniętej kopalni węgla kamiennego. Kryterium to obejmuje analizę dostępności przestrzeni na terenie kopalni i w jej sąsiedztwie oraz ocenę opłacalności i efektywności ekonomicznej takich działań.
36. Kryterium **dostępnej powierzchni dla nowych projektów/technologii** dotyczy analizy i oceny dostępności wolnej przestrzeni w otoczeniu zamykanej kopalni, która może być wykorzystana do realizacji planowanych przedsięwzięć. To kryterium obejmuje zarówno fizyczną dostępność gruntów, jak i ich jakość, lokalizację oraz zgodność z wymaganiami specyficznych projektów czy technologii. Dostępność przestrzeni determinuje skalę, rodzaj oraz zakres nowych inwestycji.
37. Kryterium **branż o stałym poborze energii** dotyczy obecności w otoczeniu zamykanej kopalni sektorów przemysłowych charakteryzujących się stałym i przewidywalnym zapotrzebowaniem na energię. Branże te mogą stanowić potencjalnych, długoterminowych odbiorców energii odnawialnej wytwarzanej na terenach pokopalnianych, co sprzyja stabilności ekonomicznej inwestycji w OZE.
38. Kryterium **firm i przedsiębiorstw** dotyczy obecności i działalności podmiotów gospodarczych, które produkują towary lub świadczą usługi na obszarze zamykanej kopalni lub w jej otoczeniu. Analiza tego kryterium pozwala na ocenę możliwości rozwoju alternatywnych modeli biznesowych przez współpracę, integrację lub adaptację istniejących firm i przedsiębiorstw do nowych projektów i technologii.

Macierz wpływów bezpośrednich (z oceny eksperckiej) zestawiono w aneksie nr 5. Na rysunku 6.5 przedstawiono wyniki analizy strukturalnej wykonanej metodą wpływów bezpośrednich (rysunek 6.5a) i pośrednich (rysunek 6.5b).



Rys. 6.5. Mapa zależności i wpływów kryteriów przyjętych dla otoczenia kopalni węgla kamiennego: a) dla wpływów bezpośrednich, b) dla wpływów pośrednich (opracowanie własne)

Kryteria przyjęte dla otoczenia kopalni węgla znajdujące się w I ćwiartce (ćwiartka górna prawa) można zakwalifikować do kryteriów kluczowych (zaznaczonych niebieską elipsą). Są to kryteria „Charakter otoczenia kopalni/bliskość przemysłu”, „Ograniczenia prawne”, „Dostępna infrastruktura dla nowych projektów/technologii”, „Dostępna przestrzeń dla nowych projektów/technologii” oraz „Koncesje i inne

regulacje prawne”. W tym przypadku różnicy pomiędzy wynikami analizy strukturalnej wykonanej metodą wpływów bezpośrednich i pośrednich.

Na podstawie analizy strukturalnej wykonanej dla wpływów bezpośrednich znajdujące się w II ćwiartce (ćwiartka górna lewa) kryterium „Oczyszczalnie ścieków”, można zakwalifikować do grupy kryteriów determinantów, określających niezmiennie/stałe cechy systemu (zaznaczone pomarańczową linią). Na podstawie analizy strukturalnej metodą pośrednią kryterium „Oczyszczalnie ścieków” zostało przeniesione do ćwiartki III.

Znajdujące się w IV ćwiartce (ćwiartka dolna prawa) kryteria „Zatrudnienie”, „Firmy i przedsiębiorstwa”, „Koszt likwidacji i rekultywacji” to kryteria rezultaty, charakteryzujące się dużą zależnością od pozostałych kryteriów, przy jednocześnie małym na nich wpływie (zaznaczone zieloną elipsą).

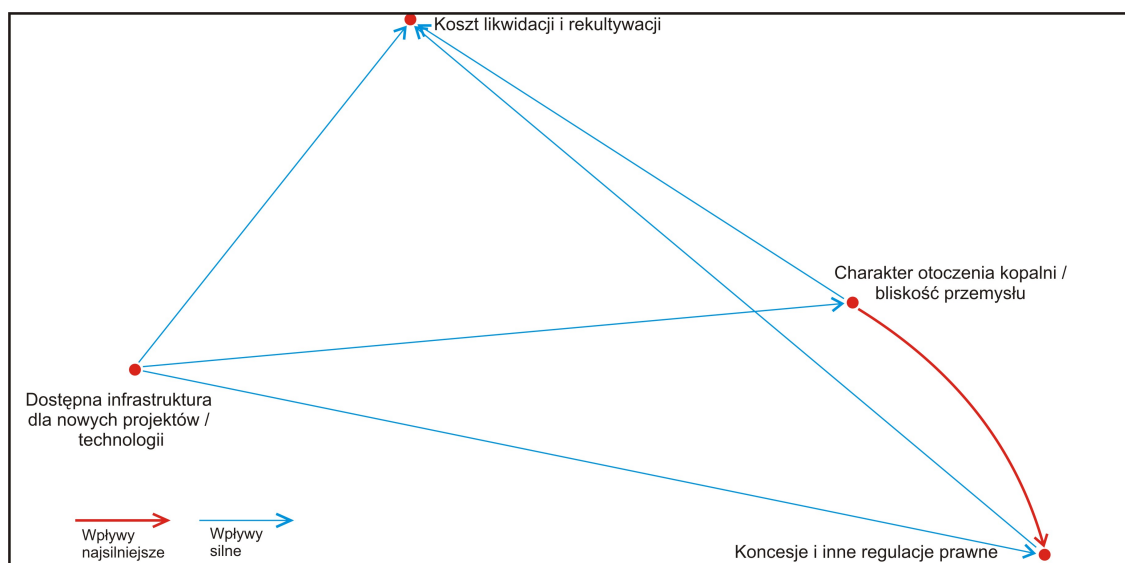
Pozostałe kryteria „Oczyszczanie ścieków”, „Dzierżawa i wynajem gruntów”, „Branże o stałym poborze energii”, „Zarządzanie liczbą pracowników”, „Instalacja do wychwytywania CO₂”, „Instalacje do oczyszczania powietrza” – znajdujące się w III ćwiartce (ćwiartka dolna lewa – zaznaczone fioletową linią) są kryteriami niezależnymi/autonomicznymi.

W tabeli 6.4 zestawiono wyniki analizy strukturalnej wykonanej dla wpływów pośrednich.

Tabela 6.4. Macierz wpływów pośrednich kryteriów przyjętych dla otoczenia kopalni węgla kamiennego– na czerwono wpływy najsilniejsze, na niebiesko wpływy relatywnie silne (opracowanie własne)

Kryterium	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
25. Instalacje do oczyszczania powietrza	3958	5984	9493	28705	22692	28532	25644	29931	19471	16785	11783	22089	17819	23334
26. Instalacja wychwytywania CO ₂	7908	11981	18878	57428	45015	56824	51082	59594	38606	33738	23391	43972	35396	46421
27. Oczyszczanie ścieków	32511	48901	78490	231357	185392	232556	209951	244751	155842	133019	95051	179638	146508	190203
28. Koszt likwidacji i rekultywacji	3532	5348	8392	26064	20028	25182	22763	26490	17650	15644	10543	19429	15761	20803
29. Ograniczenia prawne	41249	62125	99896	295345	235325	295202	266592	311363	199189	171098	121308	228399	186325	242036
30. Charakter otoczenia kopalni/bliskość przemysłu	50459	76118	122343	363916	290950	365825	328577	383880	242661	212099	148964	283583	230070	298358
31. Dostępna infrastruktura dla nowych projektów/technologii	47437	71157	115298	340648	275251	343159	309222	360383	231147	196878	140804	265289	217016	281328
32. Koncesje i inne regulacje prawne	51408	77768	123845	364820	288112	364526	329330	385297	243392	210242	148896	282254	228888	297568
33. Zatrudnienie	2957	4404	7303	22634	18053	21694	19665	22983	17107	13667	9806	16812	13952	18510
34. Zarządzanie liczbą pracowników	9267	14074	22117	67463	52237	66157	59603	69636	45108	39905	27310	51231	41260	54175
35. Dzierżawa i wynajem gruntów	24276	36603	58851	173330	138387	174017	156922	183449	116281	100092	71151	134786	109678	142254
36. Dostępna przestrzeń dla nowych projektów/technologii	40195	60574	97113	286886	228721	287531	259483	302901	192503	165701	117556	222385	181068	235134
37. Branże o stałym poborze energii	29062	43761	70127	206512	164848	207165	187173	218396	138861	118766	84712	160086	130484	169445
38. Firmy i przedsiębiorstwa	25540	38417	61660	183061	146617	183806	165631	193002	123000	105998	75062	142028	115713	150279

Na rysunku 6.6 przedstawiono wybrane najsilniejsze/najistotniejsze wpływy pośrednie pomiędzy rozpatrywanymi kryteriami.



Rys. 6.6. Wykres wpływów pośrednich kryteriów przyjętych dla otoczenia kopalni węgla kamiennego (opracowanie własne)

Najsilniejsze pośrednie wpływy zachodzą między kryteriami kluczowymi „Charakter otoczenia kopalni/bliskość przemysłu” i „Koncesje oraz inne regulacje prawne”. Będą one kluczowe w analizie morfologicznej i planowaniu nowych projektów na terenach pokopalnianych, szczególnie w kontekście inwestycji w OZE. Kryteria „Dostępna infrastruktura dla nowych projektów/technologii” i „Dostępna przestrzeń” determinują techniczne możliwości realizacji projektów OZE, co w połączeniu z analizą lokalnych regulacji pozwala na precyzyjne zaplanowanie inwestycji. Te kryteria są szczególnie istotne dla efektywnego wykorzystywania terenów pokopalnianych, zapewniając zgodność z przepisami, minimalizując ryzyko prawne oraz maksymalizując potencjał rozwoju odnawialnych źródeł energii. Dzięki ich uwzględnieniu możliwe jest dostosowanie projektów do lokalnych uwarunkowań, co zwiększa szanse na powodzenie inwestycji i ich długoterminową efektywność.

6.1.4. Podsumowanie analiz związanych z określaniem kryteriów kluczowych

Przeprowadzona analiza strukturalna pozwoliła na wyodrębnienie 10 kluczowych kryteriów podzielonych na trzy grupy, które zostaną uwzględnione w dalszych badaniach, w tym w analizie morfologicznej mającej na celu wybór scenariuszy

optymalnego zagospodarowania zasobów i infrastruktury zamykanych kopalń. Kryteria te przedstawiono w tabeli 6.5.

Wyniki analizy strukturalnej wskazują, że wyłonione kryteria mają decydujące znaczenie dla planowania przyszłego wykorzystania kopalń węgla kamiennego. Podział na trzy grupy: część podziemną, powierzchniową oraz otoczenie kopalni, pozwala na kompleksowe uwzględnienie różnych aspektów funkcjonowania tych obiektów:

1. Część podziemna kopalni: kluczowe kryteria, takie jak „Woda pompowana z kopalni” i „Poziom zatopienia kopalni” wskazują na znaczenie parametrów hydrologicznych w ocenie możliwości wykorzystania wyrobisk i szybów, na przykład do pozyskiwania wody kopalnianej i adaptacji systemów odwadniania do celów energetycznych lub technologicznych.
2. Część powierzchniowa kopalni: kryteria „Geometria OUOW”, „Ograniczenia OUOW” i „Materiał OUOW” podkreślają istotność zarządzania przestrzenią i materiałami zgromadzonymi na powierzchni. Właściwe zarządzanie pozwala na ograniczenie negatywnego wpływu na środowisko i na efektywne wykorzystanie dostępnych terenów.
3. Otoczenie kopalni: kryteria „Charakter otoczenia kopalni/bliskość przemysłu”, „Dostępna infrastruktura i przestrzeń dla nowych projektów/technologii”, „Koncesje i inne regulacje prawne” oraz „Ograniczenia prawne” zwracają uwagę na konieczność uwzględnienia lokalnych uwarunkowań społeczno-gospodarczych oraz prawnych przy projektowaniu nowych przedsięwzięć.

Te kryteria tworzą solidne podstawy dla dalszych analiz, takich jak analiza morfologiczna, które umożliwią opracowanie scenariuszy optymalnego wykorzystania zamykanych kopalń. Wyniki te wykazują złożoność procesów planistycznych oraz konieczność zastosowania holistycznego podejścia, integrującego aspekty techniczne, środowiskowe, społeczne i prawne.

Tabela 6.5. Kryteria kluczowe (opracowanie własne)

Lp.	Grupa kryteriów	Kryterium kluczowe
1	Część podziemna kopalni	Woda pompowana z kopalni
2		Poziom zatopienia kopalni
3	Część powierzchniowa kopalni	Geometria OUOW
4		Ograniczenia OUOW
5		Materiał OUOW
6	Otoczenie kopalni	Charakter otoczenia kopalni bliskość przemysłu
7		Ograniczenia prawne
8		Dostępna infrastruktura dla nowych projektów/technologii
9		Dostępna przestrzeń dla nowych projektów/technologii
10		Koncesje oraz inne regulacje prawne

6.2. Analiza modeli biznesowych opartych na rozwoju energii odnawialnej, gospodarce o obiegu zamkniętym i technologiach magazynowania energii

Na etapie badań literaturowych wyodrębniono zbiór scenariuszy wykorzystania infrastruktury i zasobów kopalń – w oparciu o europejskie i światowe doświadczenia w tym zakresie (tabela 4.1) oraz obecne trendy wynikające z prowadzonych przez UE działań na rzecz poprawy klimatu. W tym etapie badań, na podstawie badań z wykorzystaniem metody eksperckiej i spotkań typu „burzy mózgów”, dokonano podziału scenariuszy na dwie grupy: akcje i mikroakcje, co wynikało z różnego poziomu zaawansowania i/lub możliwości implementacji wybranych technologii/scenariuszy.

Dla oceny scenariuszy (akcji oraz mikroakcji) zdecydowano się na przeprowadzenie badań z zastosowaniem dwóch uzupełniających się metod – metody morfologicznej (opracowanie i ocena scenariuszy) i metody wielokryterialnej (wybór scenariuszy).

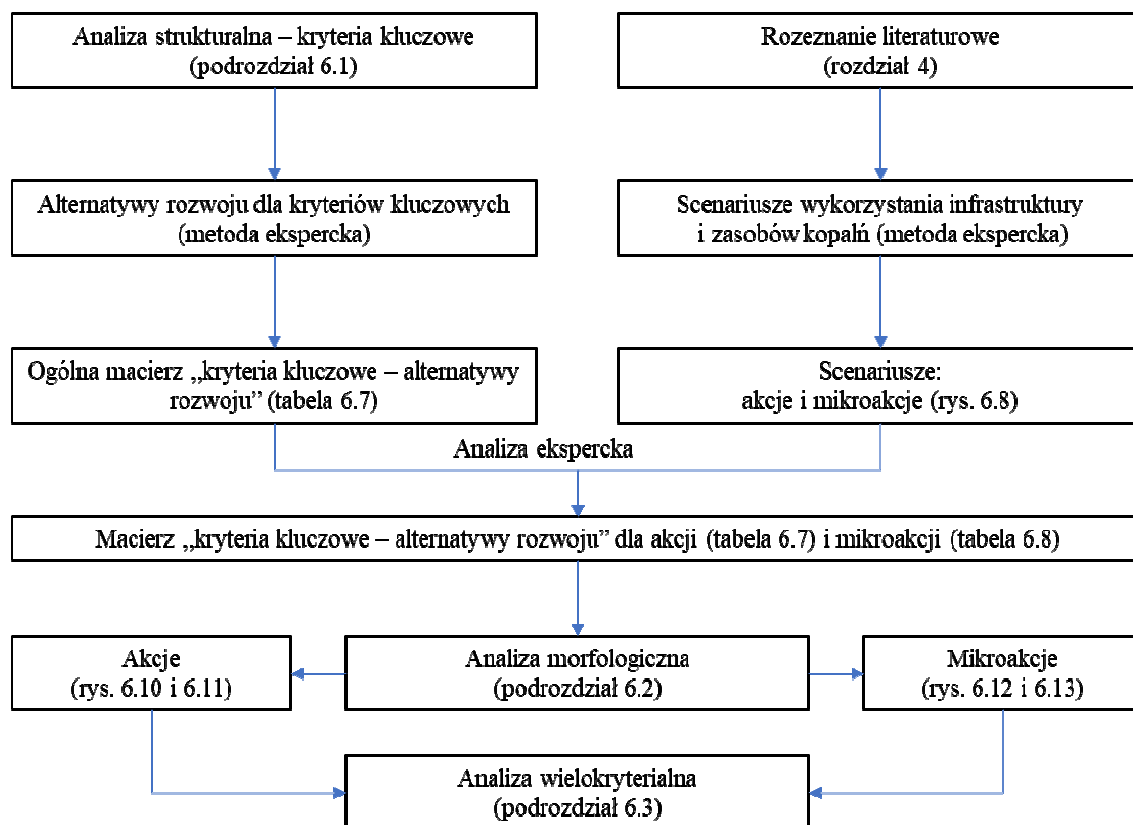
Dla opracowania i oceny scenariuszy wykorzystano 10 kryteriów kluczowych, opracowanych w poprzednim etapie badań, które zostały przedstawione w tabeli 6.5.

Pierwszym krokiem w analizie morfologicznej było opracowanie zakresu alternatyw rozwoju dla każdego z 10 kryteriów kluczowych, czego efektem było opracowanie macierzy „kryteria kluczowe – alternatywy rozwoju”, czyli tzw. pole morfologiczne (przedstawione na rys 5.2). Alternatywy rozwoju odnosiły się bezpośrednio do każdego z kryteriów kluczowych i opisywały alternatywne bądź, inaczej mówiąc, hipotetyczne stany/uwarunkowania, które mogły zaistnieć.

Zaproponowane alternatywy rozwojowe dla każdego z kryteriów kluczowych zostały poddane ocenie eksperckiej przeprowadzonej metodą Delphi, a ostateczna ich wersja powstała na drodze konsensusu.

Kolejnym krokiem było wypełnienia dla każdego z przyjętych, potencjalnych scenariuszy (akcji i mikroakcji) macierzy „kryteria kluczowe – alternatywy rozwoju”, gdzie każdemu kryterium przyporządkowano optymalną alternatywę rozwojową, która była ściśle związana z możliwością realizacji rozpatrywanego scenariusza. Zaproponowane macierze akcji i mikroakcji zostały poddane ocenie eksperckiej przeprowadzonej metodą Delphi.

Ostatnim etapem było wykonanie właściwej analizy morfologicznej, osobno dla akcji oraz dla mikroakcji. Schemat postępowania w analizie morfologicznej przedstawiono na rysunku 6.7.



Rys. 6.7. Schemat postępowania w analizie morfologicznej (opracowanie własne)

6.2.1. Opracowanie alternatyw rozwoju

W poprzednim rozdziale została dokonana identyfikacja kryteriów kluczowych oraz dokonano analizy i interpretacji ich wzajemnych powiązań. Głównym problemem przy przeprowadzaniu analiz strukturalnych była duża różnorodność i zakres zmienności

przyjętych kryteriów. Ich liczba i różnorodność z jednej strony wskazywała na wysoką wartość merytoryczną uzyskanych wyników, z drugiej strony natomiast stanowiła wyzwanie dla odpowiedniego doboru kryteriów do analizowanych grup.

Dla potrzeb analizy morfologicznej przyjęto kryteria kluczowe (tabela 6.5), jako te które w największym stopniu wpływają na pozostałe i pozostają w największych zależnościach od nich. Dla każdego z kryteriów kluczowych zostały opracowane alternatywy rozwojowe, określające ich warunki szczegółowe/charakterystyczne.

Opracowanie alternatyw dla kryteriów kluczowych przeprowadzono metodą ekspercką (zestawienie ekspertów w tabeli 6.1). Zaproponowane alternatywy dla każdego z 10 kryteriów kluczowych zostały opracowane na zasadzie „burzy mózgów”.

Do analizy morfologicznej przyjęto następujące kryteria kluczowe i ich alternatywy rozwoju:

1. Charakter otoczenia kopalni/bliskość przemysłu

Pierwszym przyjętym kryterium jest „**Charakter otoczenia kopalni/bliskość przemysłu**”. Kryterium dotyczy oceny charakteru obszaru w otoczeniu zamykanej podziemnej kopalni węgla kamiennego (między innymi obszar miejski, podmiejski, wiejski, rolniczy, przemysłowy, poprzemysłowy). Kryterium to określa między innymi stopień urbanizacji, charakter lokalnego rozwoju gospodarczego, potencjał rozwoju obszaru itp.

Kryterium to będzie również dotyczyć możliwości funkcjonowania zakładów przemysłu energochłonnego w otoczeniu kopalni węgla, na przykład wykorzystującego, w celu zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych, wyprodukowany wodór (H₂), jako źródło energii odnawialnej, a także działalności zakładów przemysłowych o stałym zużyciu energii, takich jak serwerownie czy zakłady produkcyjne/przetwórstwo żywności.

Dla potrzeb analizy morfologicznej przyjęto, że alternatywami rozwojowymi dla horyzontu roboczego tego kryterium będą:

- Alternatywa 1: Obszar niezamieszkany lub słabo zaludniony.
- Alternatywa 2: Obszar o dużej gęstości zaludnienia.

- Alternatywa 3: Obszar głównie o charakterze przemysłowym.
- Alternatywa 4: Obszar z przemysłem energochłonnym.
- Alternatywa 5: Obszar z przemysłem o wysokim i stałym zapotrzebowaniu na energię.
- Alternatywa 6: Charakter otoczenia kopalni/bliskość przemysłu nie ma znaczenia.

2. Dostępna przestrzeń dla nowych technologii/projektów

Drugim przyjętym kryterium jest „**Dostępna przestrzeń dla nowych technologii/projektów**”. Kryterium to dotyczy wielkości dostępnej przestrzeni (terenów, gruntów) na rozpatrywanym obszarze zamykanej podziemnej kopalni węgla kamiennego dla wdrożenia nowych technologii. Założono, że dostępna przestrzeń dla nowych technologii/projektów to teren kopalni z wyłączeniem w niektórych przypadkach, obiektów utylizacji odpadów wydobywczych.

Teren kopalni, po zakończeniu eksploatacji węgla kamiennego, stanowi cenny atut przy rozważaniu możliwości biznesowych, otwierając przestrzeń na wdrożenie nowych technologii i innowacyjnych projektów. Technologie związane z produkcją i magazynowaniem energii odnawialnej wymagają odpowiednio dużej przestrzeni, aby pomieścić niezbędną infrastrukturę i urządzenia. Kryterium to uwzględnia więc, zarówno wielkość dostępnej przestrzeni do potrzeb nowych technologii i projektów, jak i ewentualną konieczność/możliwość zakupu, dzierżawy lub wynajmu odpowiednich gruntów.

Dla potrzeb analizy morfologicznej przyjęto, że alternatywami rozwojowymi dla horyzontu roboczego tego kryterium będą:

- Alternatywa 1: Wystarczająca dostępna przestrzeń dla nowych technologii/projektów.
- Alternatywa 2: Ograniczona dostępna przestrzeń dla nowych technologii/projektów i związana z tym konieczność zakupu/wynajmu.

- Alternatywa 3: Dostępna przestrzeń dla nowych technologii/projektów nie ma znaczenia.

3. Dostępna infrastruktura dla nowych technologii/projektów

Kolejnym przyjętym kryterium jest „Dostępna infrastruktura dla nowych technologii/projektów”. Określa ono dostępność infrastruktury zamykanej podziemnej kopalni węgla kamiennego, zarówno powierzchniowej (budynki kopalniane, pompownie, infrastruktura drogowa i kolejowa itp.), jak i podziemnej (szyby, wyrobiska dołowe itp.). Wdrażanie nowych technologii/projektów z wykorzystaniem infrastruktury kopalnianej będzie wiązać się z koniecznością jej inwentaryzacji. Uwzględniając dostępność infrastruktury należy wziąć pod uwagę jej stan techniczny, stan formalnoprawny (budynki zabytkowe), a także specyficzne wymagania związane z poszczególnymi technologiami.

Dla potrzeb analizy morfologicznej przyjęto, że alternatywami rozwojowymi dla horyzontu roboczego tego kryterium będą:

- Alternatywa 1: Wystraczająca dostępna infrastruktura dla nowych technologii/projektów.
- Alternatywa 2: Ograniczona dostępna infrastruktura dla nowych technologii/projektów i związana z tym konieczność wynajmu/zakupu.
- Alternatywa 3: Dostępna infrastruktura dla nowych technologii/projektów nie ma znaczenia.

4. Koncesje i inne regulacje prawne

Następnym rozpatrywanym kryterium są „Koncesje i inne regulacje prawne”. Kryterium to określa konieczność uzyskania i/lub dostępność koncesji na wytwarzanie energii, koszty z tego wynikające oraz koszty likwidacji oraz rekultywacji. W Polsce działalność związana z produkcją i magazynowaniem energii z odnawialnych źródeł energii (OZE) jest regulowana przez szereg przepisów prawnych, które określają wymagania dotyczące uzyskiwania koncesji i innych zezwoleń (Dz.U. 2015 poz. 478, 2015; Dz.U. 2021 poz. 1093, 2021). Koncesja jest wymagana dla instalacji o mocy

zainstalowanej elektrycznej powyżej 1 MW, natomiast dla mniejszych instalacji obowiązują uproszczone procedury rejestracyjne. W przypadku magazynowania energii w magazynach o łącznej mocy zainstalowanej powyżej 10 MW istnieje konieczność uzyskania koncesji na magazynowanie energii elektrycznej. Dla mniejszych magazynów nie jest wymagana koncesja, jednak konieczne jest zgłoszenie takiej działalności do Urzędu Regulacji Energetyki.

Dla potrzeb analizy morfologicznej przyjęto, że alternatywami rozwojowymi dla horyzontu roboczego tego kryterium będą:

- Alternatywa 1: Koncesja na wytwarzanie energii.
- Alternatywa 2: Zobowiązania wynikające z koncesji lub innych regulacji.
- Alternatywa 3: Brak koncesji/regulacji.
- Alternatywa 4: Koncesje oraz inne regulacje prawne bez wpływu.

5. Ograniczenia prawne

Piątym kryterium są „Ograniczenia prawne”. Kryterium to odnosi się do wszelkiego rodzaju ograniczeń w użytkowaniu gruntów innych niż obiekty unieszkodliwiania odpadów wydobywczych, głównie związanych z miejscowymi planami zagospodarowania przestrzennego (MPZP) zatwierdzonymi przez odpowiednie władze, które mogą warunkować określone rozmieszczenie obiektów przemysłowych, handlowych, centrów biznesowych lub osiedli mieszkaniowych, co będzie istotne w odniesieniu do wykorzystania infrastruktury kopalnianej dla nowych funkcji gospodarczych (Dz.U. 2003 Nr 8 poz. 717, 2003).

Dla potrzeb analizy morfologicznej przyjęto, że alternatywami rozwojowymi dla horyzontu roboczego tego kryterium będą:

- Alternatywa 1: Istniejące ograniczenia w zagospodarowaniu terenu.
- Alternatywa 2: Brak ograniczeń w zagospodarowaniu terenu.
- Alternatywa 3: Ograniczenia prawne bez wpływu.

6. Geometria OUOW

Szóstym kryterium jest „Geometria OUOW”. Kryterium to obejmuje takie cechy OUOW, jak: wielkość powierzchni, wysokość, kształt i nachylenie skarp oraz systemy drenażowe i przykrycie powierzchni.

W celu opracowania różnych działań rekultywacyjnych dla obiektów unieszkodliwiania odpadów wydobywczych należy wcześniej rozważyć ich stabilność geotechniczną. Obiekty unieszkodliwiania odpadów wydobywczych są zazwyczaj przekształcane do kąta naturalnego usypu, w zależności od charakterystyki odpadów, w wyniku czego uzyskuje się kształt geomorficzny, który sam w sobie lub po nałożeniu pokrywy, zapewnia długotrwałą stabilność i odpowiednią ochronę przed erozją wietrzną i wodną (Dyrektywa UE 2006/21/WE, 2006; Dz.U. 2013 poz. 21, 2013).

Dla potrzeb analizy morfologicznej przyjęto, że alternatywami rozwojowymi dla horyzontu roboczego tego kryterium będą:

- Alternatywa 1: Płaski i stabilny OUOW.
- Alternatywa 2: Nachylony i stabilny OUOW.
- Alternatywa 3: Osuwiska i/lub erozja wietrzna i wodna.
- Alternatywa 4: Geometria OUOW bez znaczenia.

7. Ograniczenia w zagospodarowaniu OUOW

Siódme kryterium to „Ograniczenia w zagospodarowaniu OUOW”. Zagospodarowanie OUOW wiąże się z licznymi ograniczeniami wynikającymi z przepisów ochrony środowiska, wymogów technicznych oraz bezpieczeństwa. Są one związane między innymi z koniecznością ochrony środowiska gruntowo-wodnego, jego izolacją i zabezpieczaniem przed przenikaniem zanieczyszczeń, czy też z możliwym zagrożeniem gazowym, pożarowym, lub pyłowym, które może wystąpić na zwałowiskach odpadów pogórnich (Drenda i in. 2007). Kryterium dotyczy możliwego ograniczenia wykorzystania OUOW ze względu na wymagania związane z MPZP, czy inne o charakterze ekologicznym.

Dla potrzeb analizy morfologicznej przyjęto, że alternatywami rozwojowymi dla horyzontu roboczego tego kryterium będą:

- Alternatywa 1: Zagrożenie gazowe i/lub pożarowe oraz emisja pyłów.
- Alternatywa 2: Zrekultywowane bądź częściowo zrekultywowane OUOW (ograniczenia wynikające z geologii i hydrologii, stabilność skarp i wałów).
- Alternatywa 3: Obszar Natura 2000 lub obszar związany z MPZP.
- Alternatywa 4: Brak ograniczeń w zagospodarowaniu OUOW.
- Alternatywa 5: Nieistotne ograniczenia w zagospodarowaniu OUOW.

8. Materiał zdeponowany na OUOW

Kolejnym kryterium uwzględnionym w analizie morfologicznej jest „Materiał zdeponowany na OUOW”. Kryterium to odnosi się do właściwości fizyczno-chemicznych materiałów zdeponowanych na OUOW oraz uwzględnia, czy odpady są segregowane na odpady poeksploatacyjne i odpady powstałe w procesach przeróbki węgla, czy są przechowywane w postaci nieposegregowanej (Dz.U. 2013 poz. 21, 2013).

W zależności od warunków geologiczno-górnich kopalni, a zwłaszcza od jakości wydobywanego węgla kamiennego, odpady wydobywcze i odpady z przeróbki węgla mogą być składowane razem lub oddzielnie.

Dla potrzeb analizy morfologicznej przyjęto, że alternatywami rozwojowymi dla horyzontu roboczego tego kryterium będą:

- Alternatywa 1: Odpady posegregowane na OUOW.
- Alternatywa 2: Odpady obojętne na OUOW.
- Alternatywa 3: Nieistotny rodzaj materiału zdeponowanego na OUOW.

9. Poziom zatopienia kopalni

Kolejnym kryterium uwzględnionym w analizie morfologicznej jest „Poziom zatopienia kopalni”. Dotyczy ono stopnia wypełnienia wyrobisk górniczych wodą, co następuje po zakończeniu działalności wydobywczej i wyłączeniu systemu odwadniania. Zatopienie kopalni jest procesem, który podlega kontrolowanemu zarządzaniu dla zminimalizowania potencjalnych skutków środowiskowych i geotechnicznych. Poziom zatopienia każdej kopalni podziemnej musi być kontrolowany. Kontrola powinna obejmować monitoring zmian jakościowych i ich wpływu na środowisko wodne, zmian warunków hydrogeologicznych i hydrologicznych oraz geotechnicznych.

Dla potrzeb analizy morfologicznej przyjęto, że alternatywami rozwojowymi dla horyzontu roboczego tego kryterium będą:

- Alternatywa 1: Kopalnia niezatopiona.
- Alternatywa 2: Kopalnia całkowicie zatopiona.
- Alternatywa 3: Kopalnia częściowo zatopiona.
- Alternatywa 4: Nieistotny poziom zatopienia kopalni.

10. Woda pompowana z kopalni

Ostatnim kryterium uwzględnionym w analizie morfologicznej jest „Woda pompowana z kopalni”. Kryterium to określa jakość oraz chemizm wód kopalnianych pompowanych na powierzchnię kopalni.

Chemizm wód kopalnianych jest zmienny i zależy od głębokości oraz rodzaju skał nadkładu. Ogólnie można przyjąć, że zawartość substancji mineralnych w wodach kopalnianych wzrasta wraz z głębokością oraz w rejonach, gdzie nadkład jest nieprzepuszczalny i nie ma dopływu wód słodkich z powierzchni (Frejowski, 2006).

W wodach kopalnianych, oprócz dużych ilości siarczanów i chlorków, występuje również pierwiastek bar oraz związki metali metalicznych, głównie żelaza i manganu, których obecność wymaga uzdatniania wody, dla prawidłowego funkcjonowania instalacji. Obecność tych pierwiastków, może wywoływać także zmiany

hydrochemiczne w wodach gruntowych. Zmiany te mogą mieć wpływ na środowisko i/lub wydajność (np. korozja) instalacji/zakładów wytwarzających energię odnawialną.

Woda pompowana z kopalni może zawierać niebezpieczne substancje, które są toksyczne dla środowiska, takie jak metale ciężkie, pierwiastki radioaktywne (^{226}Ra i ^{228}Ra) lub PCB (polichlorowane bifenylole) stosowane w urządzeniach elektrycznych (jako płyny dielektryczne).

Dla potrzeb analizy morfologicznej przyjęto, że alternatywami rozwojowymi dla horyzontu roboczego tego kryterium będą:

- Alternatywa 1: Woda pompowana z kopalni zawierająca substancje niebezpieczne.
- Alternatywa 2: Woda pompowana z kopalni o wysokiej mineralizacji.
- Alternatywa 3: Woda pompowana z kopalni o niskiej mineralizacji.
- Alternatywa 4: Nieistotna jakość pompowanych wód

W tabeli 6.6 przedstawiono macierz „kryteria kluczowe – alternatywy rozwoju”, która została wykorzystana do analizy każdego z analizowanych scenariuszy, a na dalszym etapie badań do właściwej analizy morfologicznej.

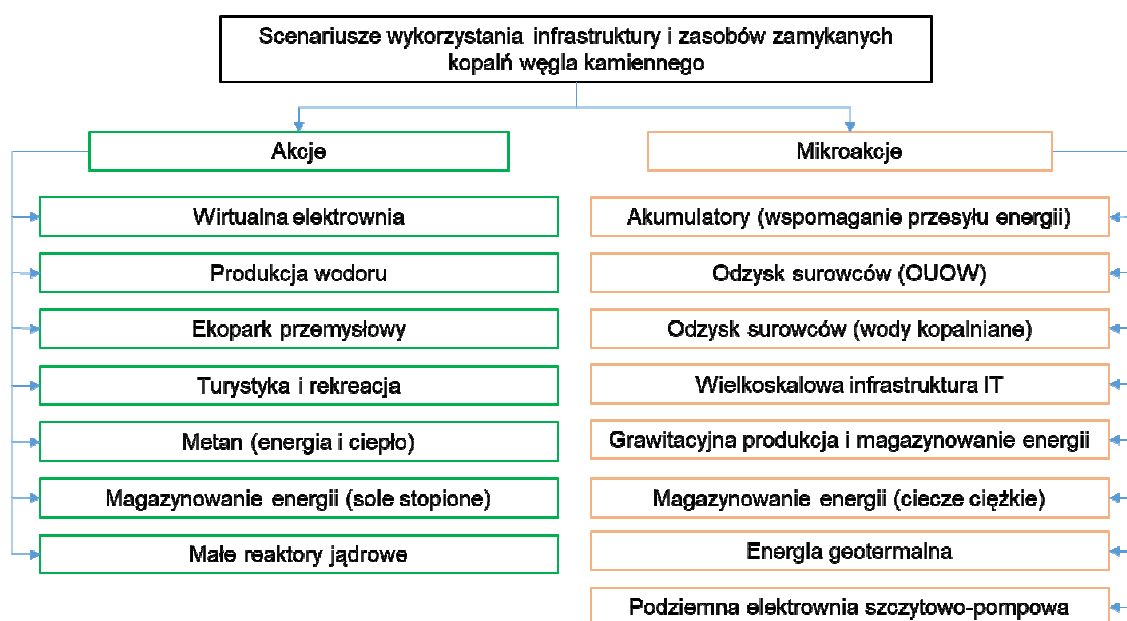
Tabela 6.6. Macierz „kryteria kluczowe – alternatywy rozwoju” (opracowanie własne)

Lp.	Nazwa kryterium	Alternatywy rozwojowe					
		Alternatywa 1	Alternatywa 2	Alternatywa 3	Alternatywa 4	Alternatywa 5	Alternatywa 6
1	Charakter otoczenia kopalni/bliskość przemysłu	Obszar niezamieszany lub słabo zaludniony	Obszar o dużej gęstości zaludnienia	Obszar głównie o charakterze przemysłowym	Obszar z przemysłem energochłonnym	Obszar o stałym zapotrzebowaniu na energię	Kryterium bez znaczenia
2	Dostępna przestrzeń dla nowych technologii/projektów	Wystarczająca dostępna przestrzeń	Ograniczona dostępna przestrzeń i związana z tym konieczność zakupu/wynajmu	Dostępna przestrzeń w nie ma znaczenia			
3	Dostępna infrastruktura dla nowych technologii/projektów	Wystarczająca dostępna infrastruktura	Ograniczona dostępna infrastruktura i związana z tym konieczność wynajmu/zakupu	Dostępna infrastruktura bez znaczenia			
4	Koncesje i inne regulacje prawne	Koncesja na wytwarzanie energii	Zobowiązania wynikające z koncesji lub inne zobowiązania	Brak koncesji/zobowiązań	Koncesje i inne regulacje prawne bez wpływu.		
5	Ograniczenia prawne	Istniejące ograniczenia w zagospodarowaniu terenu	Brak ograniczeń w zagospodarowaniu terenu	Ograniczenia prawne bez wpływu			
6	Geometria OUOW	Płaski i stabilny OUOW	Nachylony i stabilny OUOW	Osuwiska i/lub erozja wietrzna i wodna	Geometria OUOW bez znaczenia		
7	Ograniczenia w zagospodarowaniu OUOW	Zagrożenie gazowe i / lub pożarowe	Zrekultywowane bądź częściowo zrekultywowane OUOW	Obszar Natura 2000 lub obszar związany z MPZP	Brak ograniczeń w zagospodarowaniu OUOW	Nieistotne ograniczenia w zagospodarowaniu OUOW	
8	Materiał zdeponowany na OUOW	Odpady posegregowane na OUOE	Odpady obojętne na OUOW	Nieistotny rodzaj materiału zdeponowanego na OUOW			
9	Poziom zatopienia kopalni	Kopalnia niezatopiona	Kopalnia całkowicie zatopiona	Kopalnia częściowo zatopiona	Nieistotny poziom zatopienia kopalni		
10	Woda pompowana z kopalni	Woda pompowana z kopalni zawierająca substancje niebezpieczne	Woda pompowana z kopalni o wysokiej mineralizacji	Woda pompowana z kopalni o niskiej mineralizacji	Nieistotna chemizm/jakość pompowanych wód		

6.2.2. Opracowanie scenariuszy wykorzystania kopalń po zakończeniu eksploatacji

Na podstawie analizy wyników restrukturyzacji górnictwa oraz odchodzenia od eksploatacji węgla kamiennego w państwach Europy Zachodniej oraz oceny eksperckiej, wytypowano możliwe do zaimplementowania w zamykanych kopalniach węgla kamiennego scenariusze wykorzystania pozostałej po zakończeniu eksploatacji infrastruktury i/lub zasobów.

Zaproponowane scenariusze zostały podzielone na dwie grupy: akcje (zielone) i mikroakcje (pomarańczowe) (rys. 6.8).



Rys. 6.8. Podział scenariuszy na akcje i mikroakcje (opracowanie własne)

Pierwszą rozpatrywaną akcją jest „**Wirtualna elektrownia**”, w której zakłada się produkcję odnawialnej energii, która następnie będzie sprzedawana do sieci lub wykorzystywana do zasilania zlokalizowanych w pobliżu likwidowanej kopalni firm/przedsiębiorstw (Asmus, 2010; Kretschmann i in., 2017). Produkcja odnawialnej energii będzie oparta głównie na energii słonecznej (panele słoneczne) i energii wiatrowej (jeśli będzie to możliwe pod względem technicznym). Panele słoneczne oraz – ewentualnie – wiatraki będą zlokalizowane na zwałowiskach odpadów pogórnich. Aby utrzymać konkurencyjne i stałe dostawy energii elektrycznej, konieczne jest oprócz samej produkcji, również magazynowanie energii. Pozwala to na wchłonięcie nadwyżki wytworzonej energii elektrycznej, a następnie wprowadzenie jej ponownie do systemu

w późniejszym czasie, stabilizując dostawy energii elektrycznej wynikające z nadmiaru wytwarzania lub zmniejszonego popytu na energię. Dobrym rozwiązaniem wydają się być niekonwencjonalne elektrownie szczytowo-pompowe wykorzystujące ciecze gęste – które mogą być implementowane w wyrobiskach podziemnych kopalń (Johnson i in., 2019).

Akcja „**Produkcja wodoru**” jest działaniem, które zakłada wykorzystanie infrastruktury zamykanej kopalni jako fabryki zielonego wodoru, w której będzie on produkowany w procesie elektrolizy wody kopalnianej, przy zastosowaniu energii ze źródeł odnawialnych. Umożliwi na sprzedaż nadwyżek wytworzonej energii do sieci energetycznej lub dla przemysłu, na przykład o stałym zużyciu energii. Wytworzona energia będzie magazynowana i wykorzystywana do zasilania energochłonnych gałęzi przemysłu zlokalizowanych w pobliżu kopalni (Capurso i in., 2022; Groppi i in., 2018; Jiang i in., 2022; Lau i in., 2021; Nicita i in., 2020).

Akcja „**Ekopark przemysłowy**” jest to działanie, które dotyczy wykorzystania infrastruktury i zasobów zamykanej kopalni dla zintegrowanej działalności gospodarczej związanej ze zrównoważonym wytwarzaniem energii oraz opartej na zasadach gospodarki o obiegu zamkniętym, a także współpracy z otoczeniem gospodarczym kopalni (Butturi i in., 2019; Wei i in., 2017). Głównym celem tego działania jest zmniejszenie odpadów i zanieczyszczeń przez promowanie transportu na krótkich odległościach, optymalizację przepływu materiałów, zasobów i energii w obrębie parku. Zrównoważone wytwarzanie energii obejmuje produkcję energii słonecznej i wiatrowej wraz z jej magazynowaniem, a także wykorzystanie energii geotermalnej w celu zapewnienia chłodzenia/ogrzewania przedsiębiorstw, które będą częścią ekoparku przemysłowego.

Akcja „**Turystyka i rekreacja**” jest to działanie, które zakłada wykorzystanie infrastruktury pokopalnianej dla celów turystycznych, rekreacyjnych, czy związanych z promowaniem historii regionu (Evans i in., 2018; Gawor i in., 2013; Langer, 2019; Rhodes i Price, 2023). Takie wykorzystanie infrastruktury likwidowanej kopalni będzie powiązane z produkcją energii odnawialnej wykorzystywanej dla potrzeb związanych z przedsięwzięciem.

Akcja „**Metan (energia i ciepło)**” odnosi się do działań związanych z wykorzystaniem zasobów metanu w pokładach węgla oraz infrastruktury kopalnianej w celu pozyskiwania tego gazu dla produkcji ciepła i energii (Defossez i in., 2013; Györe i in., 2018; Kershaw i Whitworth, 2005; Borowski i in., 2020; Kretschmann i Nguyen, 2020; Borowski i in., 2021).

Akcja „**Magazynowanie energii (sole stopione)**” jest działaniem, które dotyczy magazynowania energii odnawialnej (energii słonecznej lub wiatrowej) w instalacji stopionej soli (Johnson i in., 2019; Mahmoudinezhad i in., 2023; Matos i in., 2019). Energia magazynowana jest w zbiornikach z podgrzewaną stopioną solą, zlokalizowanych w wyrobiskach dołowych kopalni i/lub infrastrukturze powierzchniowej. System magazynowania jest ładowany przez zamrażanie roztworu i rozładowywany przez jego topnienie. Działanie to pozwoli na złagodzenie fluktuacji produkowanej energii odnawialnej, takiej jak energia słoneczna i wiatrowa.

Akcja „**Małe reaktory jądrowe**” jest to działanie, które zakłada wykorzystanie infrastruktury podziemnej kopalni do produkcji energii przy użyciu małych reaktorów modułowych (Duffaut i Vaskou, 2014; Hussein, 2020; Johnson i in., 2019).

Mikroakcja „**Akumulatory (wspomaganie przesyłu energii)**” jest to działanie dotyczące realizacji operacji pobocznych w produkcji i magazynowaniu energii odnawialnej, takich jak monitorowanie, bilansowanie przepływu energii i naprawa infrastruktury energetycznej (Lepszy 2020; Kulpa i in. 2021; Groppi i in. 2018; Yang i in. 2018). W przypadku zakłóceń sieci energetycznych umożliwia to stabilizację oraz przywrócenie wartości charakteryzujących prąd (napięcie, częstotliwość) do ich nominalnego zakresu. Znaczna część tych usług jest obecnie wykonywana głównie przez konwencjonalnych producentów energii, jednak w przyszłości dostawcy energii odnawialnej będą również musieli monitorować stabilność sieci. Aby zagwarantować wysoki poziom jakości, niezawodności i bezpieczeństwa przesyłu i dystrybucji energii elektrycznej, operatorzy sieci muszą pracować w sposób ciągły dla utrzymania częstotliwości, napięcia i obciążenia urządzeń w dopuszczalnych granicach lub przywrócenie ich do normalnego zakresu po wystąpieniu zakłóceń – stąd też konieczność stosowania akumulatorów dla wspomagania przesyłu energii (Ertugrul, 2017).

Mikroakcja „**Odzysk surowców (OUOW)**” odnosi się do działań związanych z gospodarką o obiegu zamkniętym, których celem jest odzysk surowców ze zwałowisk odpadów pogórnich (OUOW), co stanowi jednocześnie jeden z elementów rekultywacji terenu kopalni (Pyrgaki i in. 2021; Gawor, Warcholik, i Dolnicki 2014; Matusiak i Kowol 2023; 2016). Takie wykorzystanie zasobów zamykanej kopalni węgla nie jest zazwyczaj działaniem długoterminowym, może być jednym z etapów przygotowawczych dla innych akcji/mikroakcji, na przykład przystosowanie zwałowisk odpadów pogórnich pod instalacje fotowoltaiczne.

Mikroakcja „**Odzysk surowców (wody kopalniane)**” jest działaniem, które zakłada odzysk surowców i wychwytywanie zanieczyszczeń z pompowanych na powierzchnię wód kopalnianych. Jest to zgodne z zasadami gospodarki o obiegu zamkniętym i może być powiązane z innymi akcjami/mikroakcjami. W tej mikroakcji wykorzystywane będą zarówno zasoby, jak i infrastruktura zamykanej kopalni (Banks i in., 2009; Kretschmann i in., 2017; Pyrgaki i in., 2021).

Mikroakcja „**Wielkoskalowa infrastruktura IT**” to działania dotyczące wykorzystania infrastruktury pokopalnianej do „produkcji” tzw. kryptowalut i/lub bezpiecznego gromadzenia oraz przechowywania danych (serwerownie), przy wykorzystaniu produkowanej energii odnawialnej (Gaber i in., 2021; Huq, 2016; Singh i in., 2018).

Mikroakcja „**Grawitacyjna produkcja i magazynowanie energii**” związana jest z produkcją i magazynowaniem energii w szybach kopalnianych z wykorzystaniem grawitacji (Kulpa i in., 2021; Morstyn i in., 2019; Saigustia i Robak, 2021, Siostrzonek, 2023). Wykorzystywane są odpowiednio dobrane obciążniki umieszczone w szybach kopalnianych. Energia jest magazynowana w postaci energii potencjalnej przez podnoszenie obciążników, a następnie jest generowana moc przez ich opuszczanie.

Mikroakcja „**Magazynowanie energii (ciecze ciężkie)**” jest działaniem, w którym infrastruktura pokopalniana wykorzystywana jest do magazynowania energii odnawialnej w procesach z użyciem cieczy ciężkich (Johnson i in., 2019; Matos i in., 2019). W technologii tej wykorzystuje ciecz o dużej gęstości dla magazynowania energii w postaci potencjalnej lub cieplnej, która może być później odzyskiwana i zamieniana na energię elektryczną. Jest to technologia, która znajduje się w fazie rozwoju (Chen i Wan, 2011).

Mikroakcja „**Energia geotermalna**” jest związana z produkcją ciepła i/lub energii pochodzącej z wód kopalnianych pompowanych na powierzchnię. Wykorzystywane są w tym przypadku zarówno zasoby wód kopalnianych, jak i infrastruktura podziemna i powierzchniowa zamkniętej kopalni węgla (Kretschmann 2020b; Menéndez i in. 2019; Menéndez i Loredó 2019).

Mikroakcja „**Podziemna elektrownia szczytowo-pompowa**” jest działaniem związanym z wykorzystaniem szybów kopalnianych, wyrobisk dołowych kopalni oraz infrastruktury powierzchniowej jako podziemnej elektrowni szczytowo-pompowej (PESP), co pozwoli na produkcję i magazynowanie energii odnawialnej dla lokalnych potrzeb otoczenia kopalni lub dla potrzeb związanych z innymi przedsięwzięciami zlokalizowanymi na terenie zamkniętej kopalni węgla (Kretschmann i Hegemann, 2012; Madlener i Specht, 2020; Menéndez i in., 2020).

6.2.3. Ocena scenariuszy wykorzystania kopalń węgla kamiennego po zakończeniu eksploatacji

Na podstawie opracowanych macierzy dla akcji i mikroakcji przeprowadzono analizę morfologiczną, której wynik przedstawiono poniżej. Możliwe scenariusze „kryteria kluczowe - alternatywy rozwoju” w wyniku konsensusu ekspertów zostały zredukowane do jednego optymalnego rozwiązania.

Analizę morfologiczną przeprowadzono dla siedmiu akcji. Dla każdej z nich, przy zastosowaniu metody eksperckiej, opracowano macierz „kryteria kluczowe – alternatywy rozwoju”. Przykładowa macierz dla akcji „Wirtualna elektrownia” jest pokazana na rys. 6.9.

*Metoda oceny możliwości wykorzystania infrastruktury oraz zasobów kopalń węgla kamiennego
po zakończeniu eksploatacji*

Wirtualna elektrownia	Alternatywa 1	Alternatywa 2	Alternatywa 3	Alternatywa 4	Alternatywa 5	Alternatywa 6
Charakter otoczenia kopalni/bliskość przemysłu	Obszar niezamieszany lub słabo zaludniony	Obszar o dużej gęstości zaludnienia	Obszar głównie o charakterze przemysłowym	Obszar z przemysłem energochłonnym	Obszar o stałym zapotrzebowaniu na energię	Kryterium bez znaczenia
Dostępna przestrzeń dla nowych technologii/projektów	Wystarczająca dostępna przestrzeń	Ograniczona dostępna przestrzeń i związana z tym konieczność zakupu/wynajmu	Dostępna przestrzeń w nie ma znaczenia			
Dostępna infrastruktura dla nowych technologii/projektów	Wystarczająca dostępna infrastruktura	Ograniczona dostępna infrastruktura i związana z tym konieczność wynajmu/zakupu	Dostępna infrastruktura bez znaczenia			
Koncesje i inne regulacje prawne	Koncesja na wytworzenie energii	Zobowiązania wynikające z koncesji lub inne zobowiązania	Brak koncesji/zobowiązań	Koncesje i inne regulacje prawne bez wpływu		
Ograniczenia prawne	Istniejące ograniczenia w zagospodarowaniu terenu	Brak ograniczeń w zagospodarowaniu terenu	Ograniczenia prawne bez wpływu			
Geometria OUOW	Płaski i stabilny OUOW	Nachylony i stabilny OUOW	Osuwiska i/lub erozja wewnętrzna i wodna	Geometria OUOW bez znaczenia		
Ograniczenia w zagospodarowaniu OUOW	Zapozowanie gazowe i / lub pożarowe	Zrekultywowane bądź częściowo zreultywowane OUOW	Obszar Natura 2000 lub obszar związany z MPZT	Brak ograniczeń w zagospodarowaniu OUOW	Nieistotne ograniczenia w zagospodarowaniu OUOW	
Materiał zdeponowany na OUOW	Odpady posegregowane na OUOW	Odpady obojętne na OUOW	Nieistotny rodzaj materiału zdeponowanego na OUOW			
Poziom zatopienia kopalni	Kopalnia nieostopiona	Kopalnia całkowicie zatopiona	Kopalnia częściowo zatopiona	Nieistotny poziom zatopienia kopalni		
Woda pompowana z kopalni	Woda pompowana z kopalni zawierająca substancje niebezpieczne	Woda pompowana z kopalni o wysokiej mineralizacji	Woda pompowana z kopalni o niskiej mineralizacji	Nieistotna chemizm/jakość pompowanych wód		

Rys. 6.9. Macierz „kryteria kluczowe – alternatywy rozwoju” dla akcji „Wirtualna elektrownia” (opracowanie własne)

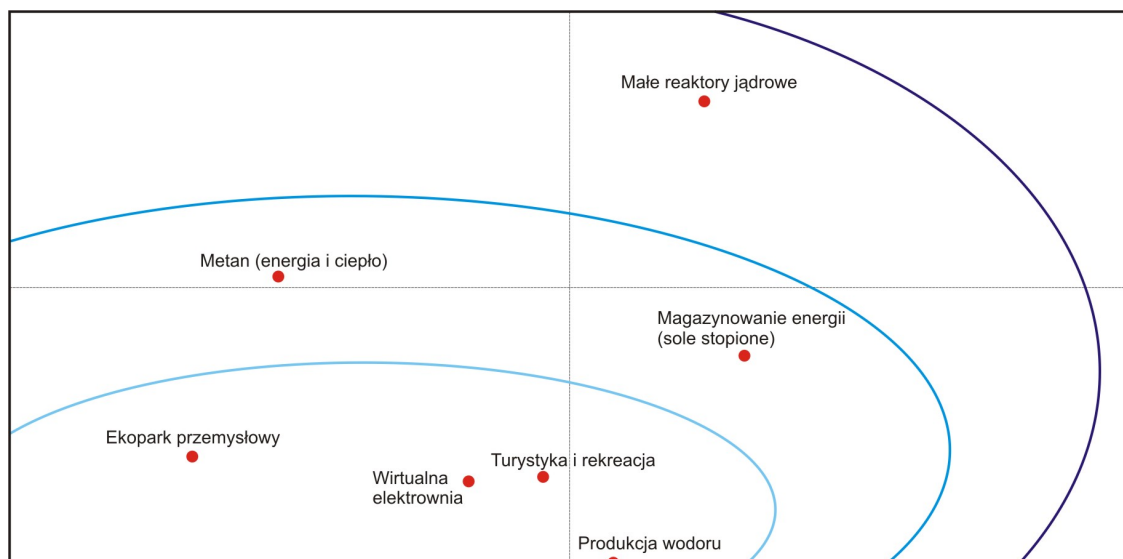
W tabeli 6.7 zestawiono uzyskane wyniki, przedstawiające uzyskane alternatywy rozwoju każdego kryterium dla rozpatrywanych akcji. Dla uzyskanych wyników analiz eksperckich przeprowadzono analizę morfologiczną.

Tabela 6.7. Przyjęte scenariusze dla akcji (opracowanie własne)

Lp.	Akcja	Nr alternatywy danego kryterium									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Wirtualna elektrownia	5	3	3	1	2	1	4	1	1	4
2	Produkcja wodoru	4	1	3	3	2	1	4	1	1	3
3	Ekopark przemysłowy	5	2	4	2	1	4	3	3	2	4
4	Turystyka i rekreacja	1	3	3	3	2	1	2	2	3	3
5	Metan (energia i ciepło)	2	2	2	2	2	4	1	3	1	1
6	Magazynowanie energii (sole stopione)	6	1	1	1	2	1	4	1	4	1
7	Małe reaktory jądrowe	3	1	1	1	1	4	1	3	1	4

Liczba w każdej kolumnie oznacza numer alternatywy każdego z kryteriów dla każdej akcji. Wyniki analizy morfologicznej zostały przedstawione w formie mapy bliskości akcji (rys. 6.10) i wykresu ich dopasowania (rys. 6.11).

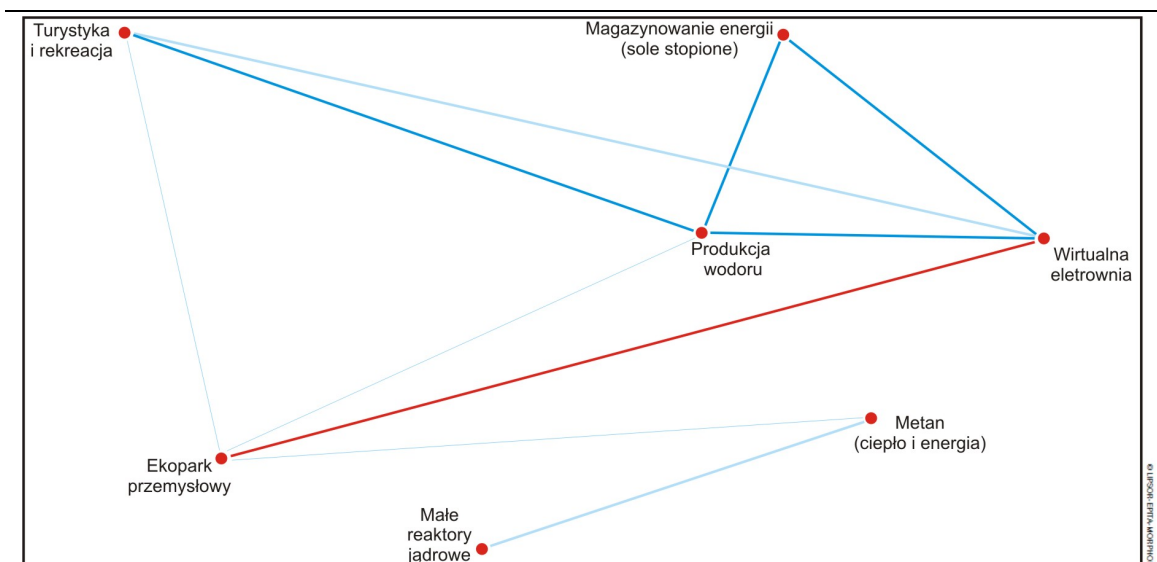
Bliskość akcji można zdefiniować jako liczbę wspólnych alternatyw rozwoju dla każdej akcji w kontekście pozostałych, przy uwzględnieniu innych, teoretycznie możliwych scenariuszy.



Rys. 6.10. Mapa morfologicznej bliskości akcji (opracowanie własne)

Bliskie akcje: „Ekopark przemysłowy”, „Wirtualna elektrownia”, „Turystyka i rekreacja” oraz „Produkcja wodoru” wydają się najłatwiejsze do wdrożenia w krótkim czasie, co wskazuje, że infrastruktura lub zasoby potrzebne do ich realizacji są bardziej dostępne lub odpowiednio rozwinięte. Akcje znajdujące się w średniej odległości „Metan (energia i ciepło)” oraz „Magazynowanie energii (sole stopione)” mogą wymagać dodatkowych inwestycji, ale są możliwe do wdrożenia przy umiarkowanych nakładach i odpowiednich warunkach technicznych. Akcja „Małe reaktory jądrowe” wskazuje natomiast na potencjalne długoterminowe rozwiązanie, którego realizacja wiązałaby się z istotnymi wyzwaniami technologicznymi, ekonomicznymi i regulacyjnymi.

Na rysunku 6.11 przedstawiono wykres dopasowania między rozpatrywanymi akcjami (czerwona linia – największe dopasowanie, niebieska linia – mocne dopasowanie, linie cienkie – słabsze dopasowania).



Rys. 6.11. Wykres morfologicznego dopasowania akcji (opracowanie własne)

Akcja „Wirtualna elektrownia” ma trzy kluczowe połączenia z innymi technologiami, co sugeruje, że mogłaby pełnić kluczową rolę w integracji i zarządzaniu różnymi źródłami energii oraz optymalizacji ich wykorzystania.

Zaznaczone na czerwono połączenie wskazuje, że akcja „Wirtualna elektrownia” może mieć istotne znaczenie dla efektywnego zarządzania energią w akcji „Ekopark przemysłowy”, wspierając rozwój przemysłu opartego na zrównoważonych źródłach energii. Może to również wskazywać, że rozwój parku przemysłowego z wykorzystaniem zrównoważonych źródeł energii będzie zależny od efektywnego zarządzania energią.

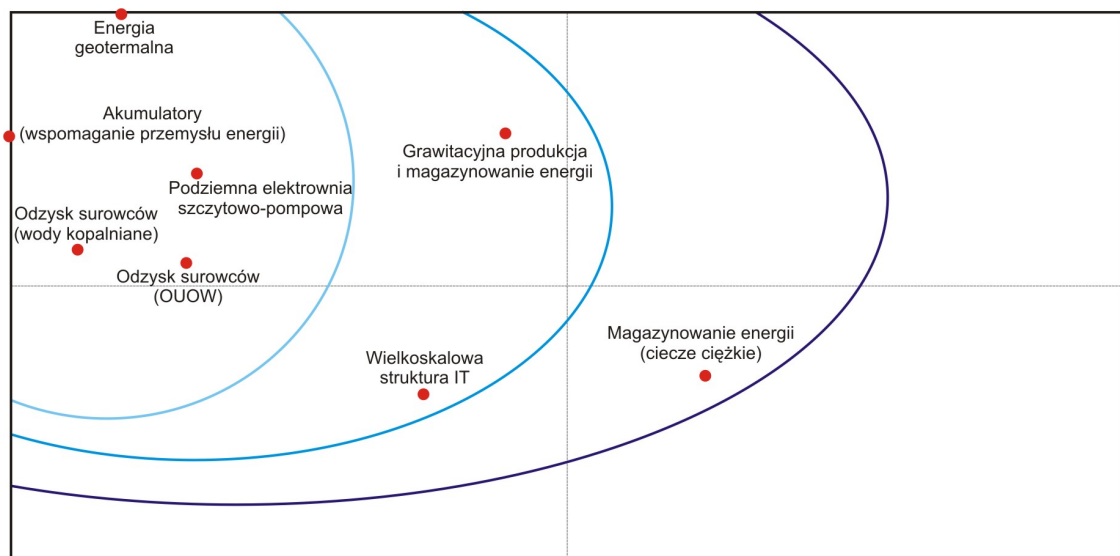
Akcja „Produkcja wodoru” i „Magazynowanie energii (sole stopione)” wykazują mocne powiązania z innymi technologiami, co może wskazywać na ich potencjalną rolę jako technologii wspierających, które mogą pomóc w stabilizacji dostaw energii i zapewnianiu alternatywnych zasobów energetycznych.

Analizę morfologiczną przeprowadzono dla ośmiu mikroakcji. Dla każdej z nich opracowano na podstawie metody eksperckiej macierz „kryteria kluczowe – alternatywy rozwoju”. W tabeli 6.8 zestawiono wyniki, przedstawiające uzyskane alternatywy rozwoju każdego kryterium dla rozpatrywanych mikroakcji.

Tabela 6.8. Przyjęte scenariusze dla mikroakcji (opracowanie własne)

Lp.	Mikroakcja	Nr alternatywy danego kryterium									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Akumulatory (wspomaganie przesyłu energii)	5	2	3	4	3	4	5	3	4	4
2	Odzysk surowców (OUOW)	6	2	2	4	2	4	5	1	4	4
3	Odzysk surowców (wody kopalniane)	6	3	3	4	2	4	5	3	4	2
4	Wielkoskalowa infrastruktura IT	5	1	1	4	2	1	4	3	1	3
5	Grawitacyjna produkcja i magazynowanie energii	2	1	1	2	1	4	5	3	1	3
6	Magazynowanie energii (ciecze ciężkie)	6	1	1	1	2	4	1	3	4	3
7	Energia geotermalna	5	2	3	2	1	4	4	3	3	3
8	Podziemna elektrownia szczytowo-pompowa	2	1	1	3	1	4	5	3	3	3

Liczba w każdej kolumnie oznacza numer alternatywy każdego z kryteriów dla każdej mikroakcji. Wyniki analiz eksperckich stanowią dane wejściowe do właściwej analizy morfologicznej, której wyniki zostały przedstawione w formie mapy bliskości mikroakcji (rys. 6.12) i wykresu ich dopasowania (rys. 6.13).



Rys. 6.12. Mapa morfologicznej bliskości mikroakcji (opracowanie własne)

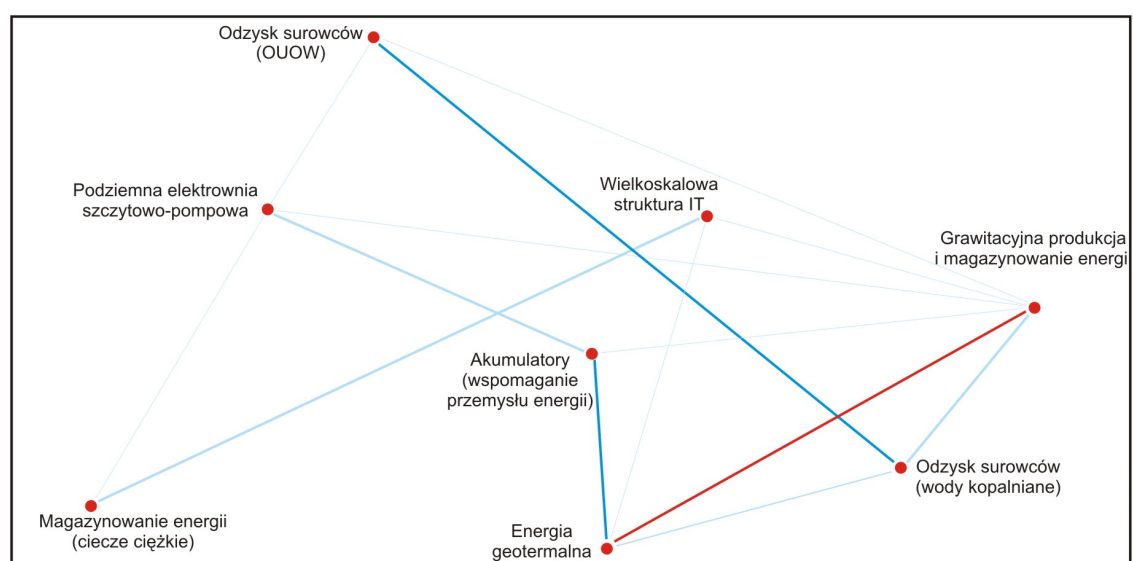
Mikroakcje takie jak „Energia geotermalna”, „Akumulatory (wspomaganie przesyłu energii)”, „Elektrownia szczytowo-pompowa” czy związane z odzyskiem surowców,

wskazują na ich stosunkowo prostą implementację. Mogą być częścią krótkoterminowej strategii rozwoju, ponieważ przynoszą szybkie korzyści dla zrównoważonego zarządzania zasobami i stabilizacji systemu energetycznego.

Mikroakcje: „Grawitacyjna produkcja i magazynowanie energii” i „Wielkoskalowa infrastruktura IT” mogą być rozważane jako średnioterminowe opcje inwestycyjne. Wdrożenie ich będzie wymagało dodatkowych zasobów, lecz jest wykonalne przy odpowiednich inwestycjach i planowaniu.

Mikroakcja związana z magazynowaniem energii z użyciem cieczy ciężkich, znajdująca się najdalej, wskazuje na jej wysoką złożoność i koszty. Wdrożenie tej technologii jest realne w dłuższym czasie i przy odpowiednich zasobach finansowych i technologicznych.

Na rysunku 6.13 przedstawiono wykres morfologicznego dopasowania pomiędzy rozpatrywanymi mikroakcjami (czerwona linia – największe dopasowanie, niebieska linia – mocne dopasowanie, linie cienkie – słabsze dopasowania).



Rys. 6.13. Wykres morfologicznego dopasowania mikroakcji (opracowanie własne)

Silne połączenie między mikroakcją „Energia geotermalna” i „Grawitacyjna produkcja i magazynowanie energii” (oznaczone czerwoną linią) wskazuje na potencjalną synergię między tymi dwoma technologiami. Energia geotermalna, będąca stabilnym i odnawialnym źródłem ciepła, może wspierać procesy grawitacyjnego magazynowania

energii. Na przykład ciepło z geotermii może być używane do podgrzewania wody lub innych płynów, które mogą być potem wykorzystywane w systemach grawitacyjnych. Synergia między tymi technologiami pozwala na bardziej efektywne zarządzanie zasobami. Zamiast budować oddzielne mikrosystemy, można połączyć grawitacyjne magazynowanie z energią geotermalną, co mogłoby obniżyć koszty i zwiększyć wydajność.

6.3. Wybór modeli biznesowych zgodnych z zaproponowanymi kryteriami

Przeprowadzona dla wyboru modeli biznesowych (akcji i mikroakcji) analiza wielokryterialna była oparta na wzajemnych analizach kryteriów, akcji/mikroakcji oraz polityk na zasadach opisanych w punkcie 5.4.

6.3.1. Kryteria zastosowane w analizie wielokryterialnej

W analizie strukturalnej i morfologicznej uwzględniono kryteria bezpośrednio dotyczące charakterystyki kopalni węgla kamiennego, jej infrastruktury oraz zasobów w aspekcie ich przyszłego wykorzystania po zakończeniu eksploatacji. W celu wyboru odpowiednich modeli biznesowych, w analizie wielokryterialnej przeanalizowano różne scenariusze, podzielone na akcje i mikroakcje.

Kluczowym celem było nie tylko zbadanie możliwości wykorzystania infrastruktury i zasobów kopalni, ale także analiza scenariuszy w kontekście ich potencjału jako modeli biznesowych. W związku z tym konieczne było wzięcie pod uwagę kryteriów, które odnosiłyby się do scenariuszy z uwzględnieniem aspektów związanych z polityką UE. Na tej podstawie opracowano siedem kryteriów, przedstawionych w tabeli 6.9. Kryteria te powstały w wyniku badań eksperckich przeprowadzonych metodą Delphi (tabela 6.1). Proces ten obejmował interakcję między badaczami, ekspertami zewnętrznymi oraz interesariuszami i był częścią planowania partycypacyjnego, które miało na celu uchwycenie priorytetów i ich uwzględnienie w dalszych etapach analizy.

Tabela 6.9. Kryteria wykorzystane w analizie wielokryterialnej (opracowanie własne)

Nr	Nazwa	Cele	Uzasadnienie
1	Bezpieczeństwo energetyczne	Pewny, dostępny cenowo dostęp do paliw i źródeł energii	Bezpieczeństwo energetyczne jest jednym z filarów polityki energetycznej UE, co znajduje odzwierciedlenie w tej strategii. UE kładzie nacisk na zapewnienie pewnego, atrakcyjnego cenowo i zróżnicowanego dostępu do źródeł energii dla zminimalizowania zależności od importu surowców energetycznych, szczególnie z niestabilnych regionów.
2	Zasoby odnawialne (zazielnianie)	Wyeliminowanie wykorzystania nieodnawialnych źródeł energii, wykorzystanie źródeł odnawialnych na tyle, na ile jest to technicznie i ekonomicznie możliwe	Promocja odnawialnych źródeł energii jest głównym elementem Europejskiego Zielonego Ładu. Kryterium to odzwierciedla politykę UE, która dąży do osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2050 roku, zwiększenia udziału OZE w miksie energetycznym i eliminacji wykorzystywania paliw kopalnych.
3	Koszt inwestycji	Koszt inwestycji w działanie – CAPEX (im wyższy koszt, tym bardziej wymagająca inwestycja)	Polityka UE wspiera transformację energetyczną i gospodarczą przez programy finansowania, takie jak Fundusz na rzecz Sprawiedliwej Transformacji czy instrument NextGenerationEU. Wysokie koszty inwestycji, będące częścią kryterium, są łagodzone dzięki dofinansowaniu z funduszy strukturalnych i programów ramowych UE. Kryterium to wskazuje na konieczność efektywnego alokowania środków, zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju.
4	Benefity	Korzyści ekonomiczne, wartość dodana z inwestycji	UE promuje inwestycje generujące wartość dodaną zarówno pod względem ekonomicznym, jak i społecznym. Benefity płynące z takich działań, zgodnie z polityką spójności UE, powinny wspierać lokalne gospodarki, tworzyć miejsca pracy i podnosić jakość życia mieszkańców. Działania te wpisują się również w cele programu InvestEU, który finansuje projekty przynoszące korzyści gospodarcze i społeczne.
5	Rozwój regionalny	Zwiększona konkurencyjność regionu, wzrost gospodarczy, poprawa warunków życia, komercyjny i społeczny wpływ na obszar	Rozwój regionalny jest jednym z priorytetów polityki spójności UE, której celem jest zmniejszenie różnic rozwojowych między regionami. Wspieranie konkurencyjności regionów górniczych i transformacja ich gospodarek przez zrównoważone inwestycje są spójne z założeniami Funduszu Sprawiedliwej Transformacji oraz innych programów wsparcia regionalnego. Kryterium to podkreśla znaczenie lokalnego wpływu na wzrost gospodarczy i poprawę jakości życia.
6	Środowisko	Wpływ na środowisko i ekologia	Ochrona środowiska jest fundamentem polityki UE, szczególnie w kontekście Europejskiego Zielonego Ładu. UE dąży do minimalizacji negatywnego wpływu działalności gospodarczej na środowisko, wspierając projekty ograniczające emisję gazów cieplarnianych, ochronę bioróżnorodności i poprawę jakości powietrza, wody i gleby. Kryterium to jest w pełni zgodne z

			polityką klimatyczną UE, która dąży do neutralności klimatycznej i wspiera zrównoważony rozwój.
7	Nowe miejsca pracy	Wpływ na zatrudnienie, nowe miejsca pracy	Tworzenie nowych miejsc pracy jest kluczowym elementem polityki zatrudnienia i integracji społecznej UE. Fundusze, takie jak Europejski Fundusz Społeczny Plus (EFS+), wspierają działania związane z podnoszeniem kwalifikacji, przekwalifikowywaniem pracowników i tworzeniem trwałych miejsc pracy w ramach transformacji gospodarczej. Kryterium to wpisuje się w działania UE na rzecz wspierania zatrudnienia w regionach dotkniętych transformacją energetyczną i dekarbonizacją.

6.3.2. Polityki Europejskiego Zielonego Ładu

W tabeli 6.10 przedstawiono polityki (wraz z opisami), które bezpośrednio odnoszą się do jednego z priorytetów Komisji na lata 2019–2024: Europejskiego Zielonego Ładu. Zmiany klimatu i postępująca degradacja środowiska stanowią istotne zagrożenie dla Europy i świata. Aby sprostać tym wyzwaniom, Europejski Zielony Ład zakłada przekształcenie UE w nowoczesną, wykorzystującą zasoby w sposób racjonalny, ale jednocześnie konkurencyjną gospodarkę.

Tabela 6.10. Polityki wykorzystane w analizie wielokryterialnej (opracowanie własne)

Nr	Nazwa	Cele	Uzasadnienie
1	Klimat 2050	Brak emisji netto gazów cieplarnianych do roku 2050	Ta polityka jest zgodna z Europejskim Zielonym Ładem, który zakłada osiągnięcie neutralności klimatycznej do 2050 roku. UE zobowiązała się do redukcji emisji gazów cieplarnianych o co najmniej 55% do 2030 roku (w porównaniu z poziomami z 1990 r.) i osiągnięcia zerowej emisji netto do połowy stulecia. Polityka ta wspiera również cele wynikające z europejskiego prawa o klimacie, które nadaje prawnie wiążący charakter celowi neutralności klimatycznej, wskazując na konieczność transformacji sektora energetycznego, transportu i przemysłu.
2	Wzrost gospodarczy	Wzrost gospodarczy niezależny od wykorzystania zasobów	Ta polityka odpowiada strategicznym celom UE, które promują gospodarkę o obiegu zamkniętym. Wzrost gospodarczy, niezależny od nadmiernej eksploatacji zasobów naturalnych, jest kluczowym założeniem polityk UE mających na celu osiągnięcie zrównoważonego rozwoju. UE dąży do ograniczenia ilości odpadów, zwiększenia efektywności materiałowej i minimalizacji śladu środowiskowego przez wprowadzanie innowacyjnych technologii oraz wspieranie zielonych inwestycji. Polityka ta uwzględnia również zasadę „odchodzenia od wzrostu opartego na paliwach kopalnych” w ramach transformacji energetycznej i gospodarczej.
3	Ludzie	Żadna osoba i żadne miejsce nie	Ta polityka jest zgodna z zasadą sprawiedliwej transformacji, którą UE promuje, aby zapewnić, że przejście na zieloną gospodarkę nie pozostawi żadnego regionu ani społeczności

		pozostają w tyle	w tyle. UE wdrożyła Fundusz na rzecz Sprawiedliwej Transformacji, aby wspierać regiony zależne od paliw kopalnych w ich transformacji gospodarczej i społecznej. W ramach tej polityki promuje się inwestycje w tworzenie nowych miejsc pracy, przekwalifikowywanie pracowników, poprawę infrastruktury i redukcję nierówności społecznej. Jest to również zgodne z zasadami spójności terytorialnej i społecznej, które są fundamentalne dla polityki UE.
--	--	---------------------	--

6.3.3. Wybór modeli biznesowych – akcje

Analiza wielokryterialna została przeprowadzona przy użyciu programu MULTIPOL w wersji 4.0 (Godet, 2001a; Godet 2001). Wyniki badań eksperckich dotyczące oceny akcji/mikroakcji w odniesieniu do kryteriów oraz ocenę polityk w kontekście kryteriów zawiera aneks nr 6.

Obliczenia w ramach analizy wielokryterialnej zostały wykonane osobno dla akcji i dla mikroakcji.

W pierwszym etapie obliczeń dokonano oceny akcji związanych z politykami. Wyniki obliczeń zostały przedstawione w tabeli 6.11. Wskazano w niej kolorami najwyższej punktowane akcje – na zielono dla polityki „Klimat 2050”, na żółto dla polityki „Wzrost gospodarczy”, a na niebiesko dla polityki „Ludzie”.

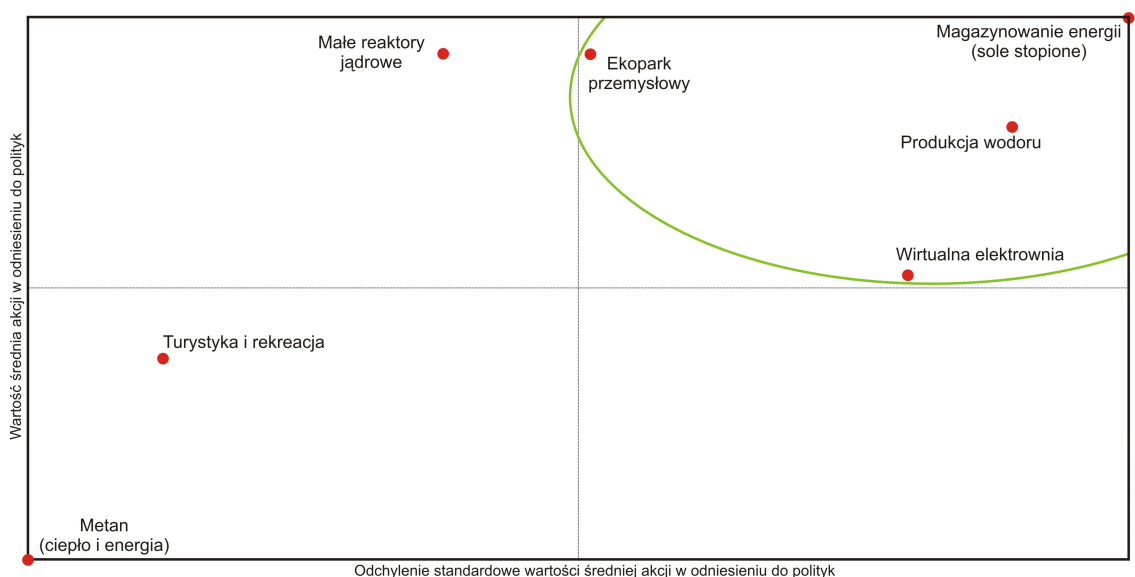
Tabela 6.11 Wyniki analizy wielokryterialnej: ocena akcji dotyczących poszczególnych polityk Europejskiego Zielonego Ładu (opracowanie własne)

Lp.	Akcja	Polityki			Analiza wielokryterialna		
		Klimat 2050	Wzrost gospodarczy	Ludzie	Średnia wartość	Odchylenie standardowe	Ranking akcji od polityk
1	Wirtualna elektrownia	13,3	9,4	7,4	10,0	2,5	5
2	Produkcja wodoru	16,4	10,5	10,9	12,6	2,7	4
3	Ekopark przemysłowy	12,5	12,9	15,9	13,8	1,5	2
4	Turystyka i rekreacja	10,0	8,0	9,2	9,1	0,8	6
5	Metan (ciepło i energia)	6,4	6,4	5,3	6,0	0,5	7
6	Małe reaktory jądrowe	14,2	11,7	15,1	13,7	1,4	3
7	Magazynowanie energii (sole stopione)	18,1	13,8	10,9	14,3	3,0	1

Tabela 6.11 zawiera wyniki analizy wielokryterialnej dla przyjętych siedmiu akcji w odniesieniu do polityk wynikających z zasad Europejskiego Zielonego Ładu. Analiza wielokryterialna została przeprowadzona przy wykorzystaniu oprogramowania MULTIPOL. Każda rozpatrywana akcja została oceniona w aspekcie kolejnych przyjętych polityk, natomiast końcowym wynikiem jest średnia wartość tej oceny i odchylenie standardowe.

Analiza wielokryterialna akcji w ujęciu całościowym wykazała, że najwyższe wartości uzyskała akcja „Magazynowanie energii (sole stopione)”. Akcja ta była szczególnie wysoko punktowana pod względem polityk „Klimat 2050” i „Wzrost gospodarczy”, natomiast miała mniejszą wartość dla polityki „Ludzie” – stąd też duża wartość odchylenia standardowego. Druga pod względem średniej wartości była akcja „Ekopark przemysłowy”, natomiast zbliżony wynik do niej uzyskała akcja „Małe reaktory jądrowe”. Natomiast obie te akcje miały mniejsze odchylenie standardowe.

Na rysunku 6.14 przedstawiono mapę czułości rankingu akcji od polityk.



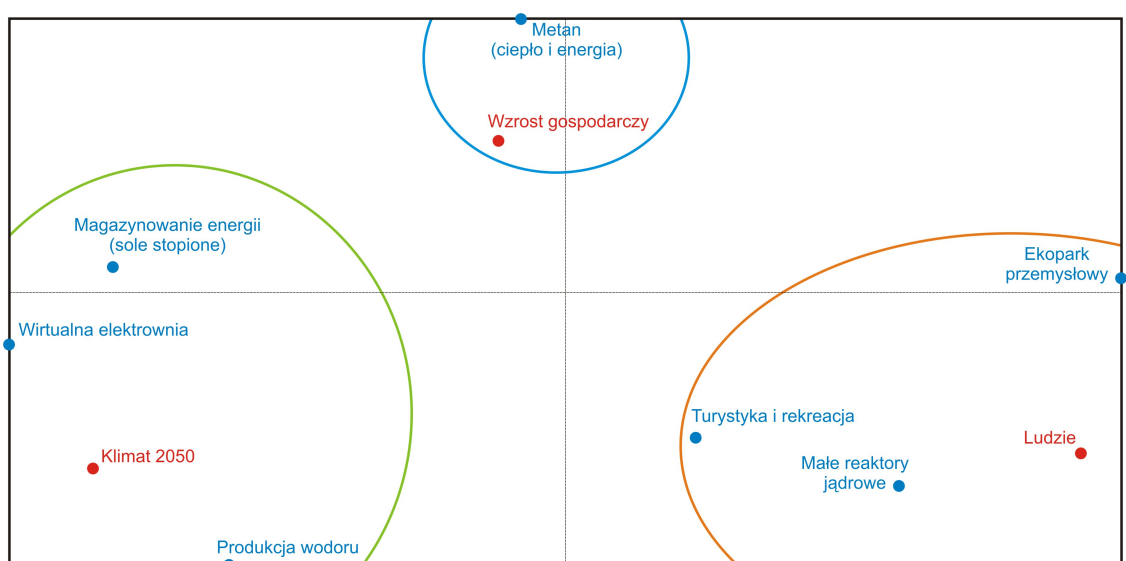
Rys. 6.14. Mapa czułości rankingu akcji od polityk (opracowanie własne)

Akcje „Magazynowanie energii (sole stopione)”, „Ekopark przemysłowy”, „Produkcja wodoru” i „Wirtualna elektrownia” uzyskały potencjalnie wysokie średnie wyniki w odniesieniu do trzech uwzględnianych polityk. Cechuje je zatem wysoka wrażliwość i pozytywny odbiór w kontekście polityk. Akcja „Małe reaktory jądrowe” była również

istotna, choć mniej korzystna niż powyższe – miała wysoką potencjalną zgodność z politykami, ale różnice w ich odbiorze były bardziej wyraźne.

Akcje „Metan (ciepło i energia)” i „Turystyka i rekreacja” wykazywały mniejszą wrażliwość na zmiany w politykach, co może sugerować ich niższą priorytetowość lub ograniczone wsparcie w określonych warunkach.

Na rysunku 6.15 przedstawiono mapę bliskości między akcjami i politykami, czyli mapę przedstawiającą zbieżności między politykami a danymi akcjami.



Rys. 6.15. Mapa bliskości akcji i polityk (opracowanie własne)

Mapa przedstawiona na rysunku 6.15 pomaga wskazać, które akcje są najbardziej zgodne z priorytetami politycznymi, i które obszary wymagają większej koordynacji między działaniami a celami polityki.

Akcje „Magazynowanie energii (sole stopione)”, „Produkcja wodoru” i „Wirtualna elektrownia” wykazywały bliskość do polityk związanych z ochroną klimatu i zrównoważonym rozwojem. Działania te mają potencjalnie wysokie wsparcie w politykach klimatycznych. Najbliżej polityki „Ludzie” znajdowały się akcje: „Ekopark przemysłowy”, „Turystyka i rekreacja” i „Małe reaktory jądrowe”, co wskazuje na pozytywny wpływ na sprawy społeczne i ekonomiczne. Natomiast akcja „Metan (ciepło i energia)” została pod względem bliskości zakwalifikowana do polityki „Wzrost gospodarczy”, co może świadczyć o jej potencjale do wspierania rozwoju ekonomicznego.

Podsumowując, analiza wielokryterialna wykazała, że najbardziej obiecujące działania to „Magazynowanie energii (sole stopione)”, „Ekopark przemysłowy”, „Małe reaktory jądrowe” i „Produkcja wodoru”, które wyróżniają się wysokim potencjałem w kontekście realizacji priorytetów politycznych. Uwzględniając wyniki analizy czułości i bliskości akcji względem polityk, szczególną uwagę należy zwrócić na akcję „Wirtualna elektrownia”, która może odgrywać istotną rolę w modelach biznesowych.

6.3.4. Wybór modeli biznesowych – mikroakcje

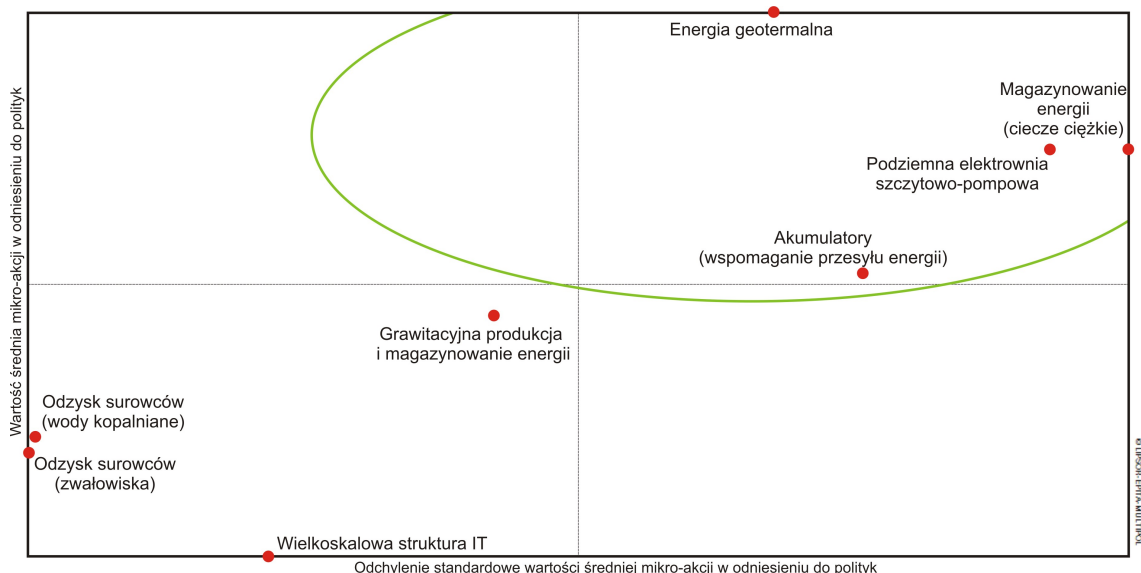
W drugim etapie analizy wielokryterialnej dokonano oceny mikroakcji związanych z politykami. Wyniki obliczeń zostały przedstawione w tabeli 6.12. Wskazano w niej kolorami najwyżej punktowane mikroakcje – na zielono dla polityki „Klimat 2050”, na żółto dla polityki „Wzrost gospodarczy”, a na niebiesko dla polityki „Ludzie”.

Tabela 6.12 Wyniki analizy wielokryterialnej: ocena mikroakcji dotyczących poszczególnych polityk Europejskiego Zielonego Ładu (opracowanie własne)

Lp.	Mikroakcja	Polityki			Analiza wielokryterialna		
		Klimat 2050	Wzrost gospodarczy	Ludzie	Średnia wartość	Odchylenie standardowe	Ranking mikroakcji od polityk
1	Akumulatory (wspomaganie przesyłu energii)	13,8	10,8	5,8	10,1	3,3	4
2	Odzysk surowców (OUOW)	5,8	6,3	7,1	6,4	0,5	7
3	Odzysk surowców (wody kopalniane)	7,5	6,2	6,4	6,7	0,6	6
4	Wielkoskalowa infrastruktura IT	4,0	6,0	2,8	4,3	1,3	8
5	Grawitacyjna produkcja i magazynowanie energii	12,2	8,0	7,6	9,3	2,1	5
6	Magazynowanie energii (ciecze ciężkie)	18,5	10,8	8,8	12,7	4,2	3
7	Energia geotermalna	19,6	14,5	12,4	15,5	3,0	1
8	Podziemna elektrownia szczytowo - pompowa	18,2	10,5	9,3	12,7	3,9	3

Analiza wielokryterialna akcji w ujęciu całościowym wykazała, że najwyższe wartości uzyskała mikroakcja „Energia geotermalna”. Mikroakcja ta była najwyżej punktowana pod względem każdej z polityk. Drugą mikroakcją pod względem wielkości średniej

wartości były *ex aequo* mikroakcja „Podziemna elektrownia szczytowo-pompowa” i mikroakcja „Magazynowanie energii (ciecze ciężkie)”. Na rysunku 6.16 przedstawiono mapę czułości rankingu mikroakcji od polityk.



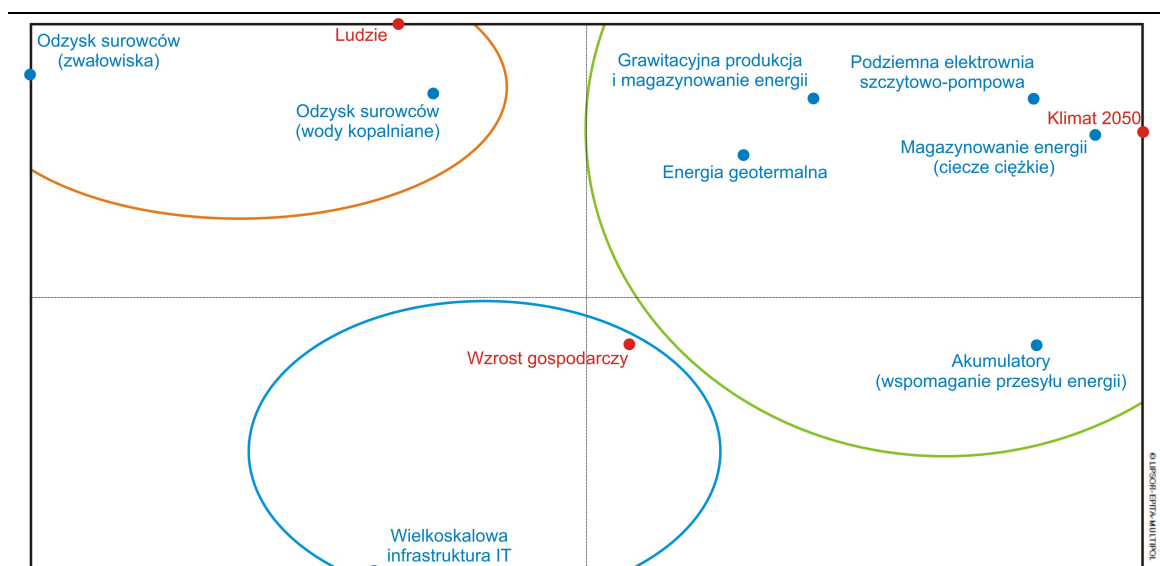
Rys. 6.16. Mapa czułości rankingu mikroakcji od polityk (opracowanie własne)

Działania takie, jak „Energia geotermalna”, „Magazynowanie energii (ciecze ciężkie)”, „Akumulatory (wspomaganie przesyłu energii)” i „Podziemna elektrownia szczytowo-pompowa” były wysoko oceniane pod względem zgodności z politykami. Mają one dużą wrażliwość i potencjalne wsparcie w strategiach politycznych związanych z energią odnawialną i magazynowaniem energii.

Mikroakcja „Grawitacyjna produkcja i magazynowanie energii” znajduje się w neutralnym obszarze, co wskazywało na jej umiarkowaną wrażliwość. Jest ona istotna, lecz jej wdrożenie może wymagać dodatkowych analiz w kontekście priorytetów polityk.

Mikroakcje „Odzysk surowców (wody kopalniane)”, „Odzysk surowców (OUOW)” oraz „Wielkoskalowa infrastruktura IT” wykazywały niską wrażliwość na polityki. Ich wpływ na priorytety polityczne jest ograniczony, ale mogą mieć znaczenie w specjalistycznych zastosowaniach lub lokalnych strategiach.

Na rysunku 6.17 przedstawiono mapę bliskości między mikroakcjami i politykami, czyli mapę przedstawiającą zbieżności między politykami a danymi mikroakcjami.



Rys. 6.17. Mapa bliskości mikroakcji i polityk (opracowanie własne)

Mikroakcje „Grawitacyjna produkcja i magazynowanie energii”, „Podziemna elektrownia szczytowo-pompowa”, „Energia geotermalna”, Akumulatory (wspomaganie przesyłu energii)” i „Magazynowanie energii (ciecze ciężkie)” są silnie powiązane z polityką klimatyczną. Działania te są kluczowe dla realizacji długoterminowych celów środowiskowych.

Mikroakcje „Odzysk surowców (wody kopalniane)” i „Odzysk surowców (OUOW)” koncentrują się na działaniach związanych z gospodarką zasobami i ich wpływem na społeczność. Mają one istotne znaczenie w kontekście zrównoważonego zarządzania surowcami.

Mikroakcja „Wielkoskalowa infrastruktura IT jest powiązana z celami gospodarczymi mają potencjalny wpływ na rozwój technologiczny i infrastrukturę.

Reasumując, analiza wielokryterialna wykazała, że najbardziej obiecującą mikroakcją jest „Energia geotermalna”, która wyróżniała się wysokim potencjałem i zgodnością z priorytetami polityk. Warto również zwrócić uwagę na mikroakcje: „Magazynowanie energii (ciecze ciężkie)”, „Podziemna elektrownia szczytowo-pompowa” oraz „Akumulatory (wspomaganie przesyłu energii)” które są również perspektywiczne i mogą odegrać kluczową rolę w realizacji celów strategicznych.

7. Uzasadnienie wyboru modeli biznesowych

Dotychczas przeprowadzone badania i analizy pozwoliły na wytypowanie akcji, które mogą stanowić bazę modelu/modeli biznesowych uzupełnionych o perspektywiczne mikroakcje. Uzyskane podczas przeprowadzonej analizy wielokryterialnej (rozdział 6.3) wyniki nawiązują bezpośrednio do głównych założeń/polityk Europejskiego Zielonego Ładu.

Dla uzasadnienia wyboru akcji i mikroakcji, jako składowych modeli biznesowych, wykonano dodatkową ocenę. Uwzględniała ona pewne czynniki powiązane z wytycznymi UE, które nie były brane pod uwagę w dotychczasowych analizach, a mianowicie.

- określanie poziomu gotowości technologicznej TRL (Technology Readiness Level) w celu oceny zaawansowania technologicznego proponowanych akcji i mikroakcji (Olechowski i in., 2015),
- ocena kluczowych kryteriów technicznych opracowanych w ramach badań przedstawionych w rozdziale 4, opartą zarówno na istotności ich wpływu na akcje oraz mikroakcje, jak i jego charakterze (pozytywny, neutralny, negatywny),
- zgodność proponowanych akcji i mikroakcji z podstawowymi zasadami taksonomii europejskiej (Rozporządzenie/2020/852, 2020b), określającymi, które działania (akcje oraz mikroakcje) są najbardziej zrównoważone środowiskowo,
- potencjał synergistyczny (Brown i in., 2018; Tayebi-Khorami i in., 2019), oceniający możliwość synergii działań opartych na infrastrukturze i zasobach zamykanych kopalń z otoczeniem,
- zgodność akcji i mikroakcji z ogólnymi zasadami gospodarki o obiegu zamkniętym (Blinova i in., 2022; Jürgen Kretschmann, 2020b; Pactwa i in., 2020), aby umożliwić wykorzystywanym zasobom utrzymanie ich najwyższej wartości tak długo, jak to możliwe, dążąc do wyeliminowania odpadów przez optymalizację procesów produkcyjnych w modelach biznesowych,

- zgodność z zasadami integracji sektorów (Ramsebner i in. 2021; Schaber, Steinke, i Hamacher 2013), związana wykorzystywaniem w większym stopniu odnawialnych źródeł energii.

7.1. Poziom gotowości technologicznej TRL

Pierwszym dodatkowo uwzględnionym czynnikiem był poziom gotowości technologicznej (TRL) określony dla każdego ocenianego działania (akcji/mikroakcji). TRL jest to skala stosowana do oceny stopnia dojrzałości technologii na różnych etapach jej rozwoju. Skala ta składa się z dziewięciu poziomów, które określają, jak zaawansowana jest dana technologia, od wstępnych badań koncepcyjnych po pełną komercjalizację i wdrożenie (Olechowski i in., 2015). W tabeli 7.1 zdefiniowano poziomy gotowości technologicznej TRL w odniesieniu do odnawialnych źródeł energii (de Rose i in., 2017).

Tabela 7.1. Poziomy gotowości technologicznej

Skala TRL	Definicja
1	Podstawowe zasady obserwowane i zgłębione. Początkowe koncepcje bez praktycznego zastosowania.
2	Formułowanie koncepcji technologicznej oraz jej potencjalnych zastosowań.
3	Dowody na zasadność koncepcji uzyskane w badaniach analitycznych i laboratoryjnych.
4	Walidacja komponentów technologicznych w warunkach laboratoryjnych.
5	Walidacja komponentów technologicznych w warunkach zbliżonych do rzeczywistych (poziom przed prototypem).
6	Demonstracja prototypu systemu w odpowiednich warunkach rzeczywistych.
7	Demonstracja prototypu systemu w pełnej skali w rzeczywistych warunkach operacyjnych.
8	Zakończenie testów i walidacja systemu w rzeczywistych warunkach; gotowość do przedprodukcyjnego wdrożenia.
9	System przetestowany i zademonstrowany w warunkach operacyjnych; technologia gotowa do wdrożenia komercyjnego.

Dla przyjętych akcji i mikroakcji określono następujące poziomy gotowości technologicznej TRL:

- Akcja „Magazynowanie energii (sole stopione)” – technologia znajduje się na dość zaawansowanym etapie rozwoju, m.in. działają instalacje oparte na tej zasadzie w Gemasolar w Hiszpanii czy Khi Solar One w RPA (Geyer i Prieto, 2022). Dla technologii magazynowania energii w solach stopionych można przyjąć TRL=8.

- akcja „Ekopark przemysłowy” – poziom gotowości technologicznej jest zależny od sposobu produkcji i magazynowania energii. Wysokie poziomy TRL dla produkcji energii (energia słoneczna, wiatrowa czy geotermalna) oraz możliwość dostosowania sposobu magazynowania energii (na zasadzie „Wirtualnej elektrowni”) pozwalają na przyjęcie wysokiego poziomu TRL=9.
- Akcja „Małe reaktory jądrowe” – większość technologii jądrowych pozwalających na produkcję energii w małych, modułowych jednostkach znajduje się na poziomie TRL=6–7, z kilkoma projektami, których celem jest osiągnięcie wyższego poziomu TRL (Liu i Fan, 2014).
- Akcja „Produkcja wodoru” – poziom gotowości technologicznej jest zależny od technologii produkcji wodoru. Technologie wdrożone, takie jak elektroliza alkaliczna ma poziom TRL=9, technologie wdrażane (elektroliza z membraną protonową), czy w fazie testów (elektroliza tlenkowych ogniw stałych) odpowiednio niższą (Rey i in., 2023).
- Mikroakcja „Energia geotermalna” – poziom gotowości technologicznej dla płytkiej geotermii (pompy ciepła) i przy wykorzystaniu wysokotemperaturowych zasobów geotermalnych, jest wysoki. Są to systemy stosowane komercyjnie. Niższe poziomy TRL mają inne systemy związane z energią geotermalną, na przykład niskotemperaturowe czy wykorzystanie głębokich zasobów geotermalnych (Walls i in., 2021; Younger, 2015).
- Mikroakcja „Magazynowanie energii (ciecze ciężkie) – większość technologii magazynowania energii w cieczach ciężkich znajduje się na poziomie TRL=4–5. Niemniej można przypuszczać, że technologia ta będzie rozwijana.
- Mikroakcja „Podziemna elektrownia szczytowo-pompowa” – poziom gotowości technologicznej jest na poziomie TRL=5–6, jakkolwiek pilotażowe instalacje w kopalniach mogą osiągnąć wyższy poziom TRL. Większość podziemnych elektrowni szczytowo-pompowych jest obecnie na etapie pilotażowym lub wczesnej komercjalizacji, ale technologia ta ma potencjał do pełnego wdrożenia komercyjnego w najbliższych latach.
- Mikroakcja „Akumulatory (wspomaganie przesyłu energii)” – jest to technologia o różnym poziomie dojrzałości, z najbardziej rozpowszechnionymi i stosowanymi komercyjnie akumulatorami litowo-jonowymi, a także przyptywowymi czy sodowo-siarkowymi o TRL=8–9. Technologia się stale rozwija, między innymi

w oparciu o półprzewodniki czy stosowanie połączeń litowo-siarkowych (Ertugrul, 2017).

7.2. Ocena kryteriów technicznych

W rozdziale 6 dokonano analizy kryteriów technicznych związanych z funkcjonowaniem kopalni węgla kamiennego i jej najbliższego otoczenia. W wyniku przeprowadzonej analizy strukturalnej uzyskano 10 technicznych, kryteriów kluczowych, które charakteryzowały się największym wpływem i jednocześnie największą zależnością od innych kryteriów. Oceniono ich wpływ na zaproponowane akcje i mikroakcje uwzględniając oprócz samej siły wpływu/oddziaływania, także jego charakter (ułatwiający – pozytywny, neutralny lub utrudniający – negatywny).

Analiza wpływu kryteriów technicznych jest analizą dodatkową, pomocniczą. Pozwala ona, w odróżnieniu od pozostałych analiz, uwzględnić pozytywny/negatywny wpływ kryteriów kluczowych – co pozwoli szerzej spojrzeć na możliwości implementacji zaproponowanych scenariuszy.

W przeprowadzonej analizie eksperckiej metodą Delphi (wg ekspertów wymienionych w tabeli 6.1) dokonano oceny wpływu kryteriów technicznych na akcje i mikroakcje według następującej skali:

- wartości całkowite od 1 do 20 – wpływ pozytywny, im wartość jest wyższa, tym wpływ jest silniejszy,
- wartość 0 – brak wpływu lub wpływ neutralny,
- wartości całkowite od (-1) do (-20) – wpływ negatywny, im niższa wartość tym wpływ ten jest silniejszy.

Wyniki analizy eksperckiej zostały zestawione w aneksie nr 7.

Akcja „Produkcja wodoru” z wód kopalnianych jest silnie zależna od charakteru otoczenia kopalni i dostępności infrastruktury, które wspierają zarówno produkcję, jak i dystrybucję gazu. Dostępna przestrzeń daje możliwość budowy odpowiednich instalacji, jednak ograniczenia prawne i regulacyjne mogą stanowić istotne utrudnienie. Poziom zatopienia kopalni i woda pompowana z kopalni mają istotny wpływ, dostarczając zasobów technologicznych przydatnych w procesach chemicznych.

Dla akcji „Ekoparku przemysłowego” jest korzystne położenie kopalni w pobliżu przemysłu. Wykorzystywana jest także przestrzeń i infrastruktura, co ułatwia adaptację terenów pokopalnianych do nowych funkcji. Działania te znajdują wsparcie w regulacjach uwzględniających zrównoważony rozwój. Negatywny wpływ mają ograniczenia związane z gospodarką odpadami, natomiast poziom zatopienia kopalni i woda pompowana z kopalni odgrywają jedynie marginalną rolę.

Akcja „Małe reaktory jądrowe” na terenach kopalń, które zazwyczaj znajdują się na obszarach zurbanizowanych z funkcjonującym przemysłem, wymagają spełnienia wymogów bezpieczeństwa jądrowego. Istniejąca infrastruktura i bliskość przemysłu wspierają realizację tego typu inwestycji, jednak dostosowanie lokalizacji do rygorystycznych wymagań może zwiększyć koszty i wydłużyć czas realizacji. Poziom zatopienia kopalni i woda pompowana z kopalni mogą stanowić dodatkowe atuty, ułatwiając, po odsoleniu, procesy chłodzenia i zwiększając efektywność działania reaktorów.

Dla akcji „Magazynowanie energii (sole stopione)” ważna jest dostępna przestrzeń i istniejąca infrastruktura, które mogą być zaadaptowane na potrzeby instalacji magazynowych. Ograniczenia prawne i gospodarka odpadami wywierają umiarkowanie negatywny wpływ, natomiast lokalizacja kopalni ma niewielkie znaczenie w porównaniu z innymi działaniami.

Mikroakcja „Akumulatory (wspomaganie przesyłu energii)” osiągała wysokie oceny w zakresie dostępności infrastruktury oraz przestrzeni i otoczenia kopalni. Regulacje prawne i koncesje otrzymały oceny umiarkowanie pozytywne, co wskazuje na względnie korzystne, ale nie w pełni optymalne, warunki. Brak jest istotnego wpływu geometrii OUOW, materiału OUOW, poziomu zatopienia kopalni oraz pompowanej wody. Mikroakcja jest elastycznym rozwiązaniem o dużym potencjale, szczególnie w kontekście infrastruktury i przestrzeni, ale jej wdrożenie wymaga dalszych regulacji.

Mikroakcja „Magazynowanie energii (ciecze ciężkie)” uzyskało najwyższe oceny za charakter otoczenia i dostępność infrastruktury oraz przestrzeń dla nowych technologii. Ujemne wartości za koncesje oraz poziom zatopienia kopalni wskazują na bariery, które mogą ograniczać rozwój.

Mikroakcja „Energia geotermalna” uzyskała wysokie oceny za bliskość przemysłu i dostępność przestrzeni oraz umiarkowaną ocenę za regulacje prawne i koncesję. Ograniczenia związane z geometrią i materiałem OUOW są neutralne, natomiast umiarkowanie negatywne oceny za ograniczenia prawne i zagospodarowanie OUOW wskazują na istotne trudności w realizacji projektów. Energia geotermalna ma wysoki potencjał w kontekście przestrzeni i bliskości przemysłu, ale jej rozwój wymaga przewyższenia ograniczeń regulacyjnych i technicznych.

Dla mikroakcji „Podziemna elektrownia szczytowo-pompowa” pozytywne oceny związane z charakterem otoczenia i dostępnością infrastruktury, co wskazywało na możliwość integracji z istniejącym środowiskiem przemysłowym. Wyniki były silnie negatywne w kontekście koncesji, poziomu zatopienia kopalni oraz pompowanej wody, co wskazuje na poważne bariery techniczne i regulacyjne.

7.3. Taksonomia UE

Taksonomia UE to system klasyfikacji, który ustanawia kryteria, które musi spełniać działalność gospodarcza, aby została uznana za „zrównoważoną środowiskowo”. Ze względu na istotność wybrane jej aspekty zostały uwzględnione w analizach. Taksonomia UE wymusza konieczność podejmowania działań polegających na przekierowaniu inwestycji na zrównoważone projekty i działania w celu osiągnięcia celów energetycznych i klimatycznych UE na rok 2030, a także celów Europejskiego Zielonego Ładu (Brown i in., 2018; Halbrügge i in., 2022, 2021; Dyczko i in., 2021). Kluczowe założenia taksonomii UE odnoszą się do (Rozporządzenie UE 2020/852, 2020a, 2020b; Rozporządzenie UE 2023/2486, 2023; „Rozporządzenie Komisji (UE) 2022/2014”, 2022):

- Kryteriów zrównoważonego rozwoju obejmujących między innymi łagodzenie zmian klimatu oraz adaptację do nich, zrównoważone wykorzystywanie oraz ochronę zasobów wodnych i morskich, przejście na gospodarkę o obiegu zamkniętym, zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola oraz ochronę i odbudowę różnorodności biologicznej i ekosystemów.
- „Wkładu znaczącego”, czyli działalności dotyczącej jednego z powyższych kryteriów, jednocześnie niewpływającej negatywnie na pozostałe.
- Minimalnych standardów społecznych, jakie musi spełniać przedsiębiorca.

Tabela 7.2. Wykaz wybranych akcji w odniesieniu do taksonomii UE

Akcja	Kryteria zrównoważonego rozwoju	Wkład znaczący	Podsumowanie
Magazynowanie energii (sole stopione) (Dyrektywa UE 2018/2001, 2018; Rozporządzenie UE 2020/852, 2020b)	Łagodzenie zmian klimatu oraz adaptacja do zmian klimatycznych (technologia wspierająca OZE)	Zapewnia istotne wsparcie dla stabilności dostaw energii i efektywności OZE	Zgodna z taksonomią UE, przyczyniająca się do dekarbonizacji i zapewniająca stabilność dostaw energii z OZE
Ekopark przemysłowy (Dyrektywa UE 2008/98, 2008; Rozporządzenie UE 2020/852, 2020b)	Przejęcie do gospodarki o obiegu zamkniętym oraz zapobieganie zanieczyszczeniom	Wnosi znaczący wkład w zmniejszanie odpadów i oszczędność zasobów	Bardzo zgodny z taksonomią UE, szczególnie, jeśli funkcjonuje jako gospodarka cyrkularna
Małe reaktory jądrowe (Dyrektywa UE 2011/70/EURATOM, 2011; Rozporządzenie UE 2020/852, 2020b)	Technologia kontrowersyjna w kontekście taksonomii	Redukcja emisji gazów cieplarnianych, szczególnie przy stabilnych źródłach energii	Zgodność z taksonomią UE jest ograniczona. Wymagane są wysokie standardy bezpieczeństwa i ochrony zdrowia
Produkcja wodoru (Dyrektywa UE 2018/2001, 2018; Rozporządzenie UE 2020/852, 2020b)	Łagodzenie zmian klimatu oraz adaptacja do zmian klimatycznych (zrównoważone zarządzanie wodami kopalnianymi)	Wkład w rozwój wodoru niskoemisyjnego i zrównoważone zarządzanie zasobami wodnymi	Zgodna z taksonomią UE, jeśli zapewnione są odpowiednie normy emisji i zrównoważonego zarządzania zasobami

Pod względem zgodności z taksonomią UE najbardziej zbliżone są akcje „Ekopark przemysłowy” oraz „Magazynowanie energii (sole stopione)”. Akcja „Produkcja wodoru” wykazuje również dużą zgodność z założeniami taksonomii UE. Natomiast akcja „Małe reaktory modułowe” jest tematem kontrowersyjnym w kontekście zgodności z taksonomią UE, mimo że oferuje potencjalnie niskoemisyjne źródło energii. Wynika to między innymi z konieczności zagospodarowania odpadów promieniotwórczych, kwestii bezpieczeństwa i konieczności uzyskania akceptacji społecznej.

Tabela 7.3. Wykaz wybranych mikroakcji w odniesieniu do taksonomii UE

Mikroakcja	Kryteria zrównoważonego rozwoju	Wkład znaczący	Podsumowanie
Energia geotermalna (Dyrektywa UE 2018/2001, 2018; Dyrektywa UE 2019/944, 2019; Rozporządzenie UE 2020/852, 2020b)	Łagodzenie zmian klimatu oraz adaptacja do zmian klimatycznych (wykorzystanie stabilnego, niskoemisyjnego źródła energii)	Udział w ograniczaniu emisji CO ₂ przez zastępowanie paliw kopalnych	Zgodna z taksonomią UE, przyczyniająca się do dekarbonizacji
Magazynowanie energii (ciecze ciężkie) (Dyrektywa	Łagodzenie zmian klimatu oraz adaptacja do zmian klimatycznych	Zapewnia istotne wsparcie dla stabilności dostaw	Technologia ta ma potencjał, ale ze względu na wcześniejszy

UE 2018/2001, 2018; Rozporządzenie UE 2020/852, 2020b)	(technologia wspierająca OZE)	energii i efektywności OZE	etap rozwoju, jej zgodność z taksonomią UE jest niższa w porównaniu z bardziej rozwiniętymi technologiami magazynowania energii
Podziemna elektrownia szczytowo-pompowa (Dyrektywa UE 2019/944, 2019; Rozporządzenie UE 2020/852, 2020b)	Łagodzenie zmian klimatu: wspomaga stabilność systemu zasilania z OZE, ogranicza potrzebę wykorzystania szczytowego zapotrzebowania energii z paliw kopalnych	Zwiększa elastyczność i niezawodność sieci, minimalizując użycie emisji w okresach szczytowego zapotrzebowania na energię	Zgodne z taksonomią UE, choć ich implementacja może być kosztowna i wymagać szczególnej oceny wpływu na środowisko lokalne
Akumulatory (wspomaganie przesyłu energii) (Dyrektywa UE 2006/66/WE, 2006; Rozporządzenie UE 2020/852, 2020b)	Łagodzenie zmian klimatu (wspiera stabilizację i efektywność OZE, zmniejszając emisje w systemie przesyłu energii)	Kluczowa rola w zwiększaniu udziału OZE i redukcji emisji z tradycyjnych źródeł	Zgodna z taksonomią UE, jeśli przestrzegane są odpowiednie normy emisji i zrównoważonego zarządzania zasobami

Pod względem zgodności z taksonomią UE najbardziej zbliżone są mikroakcje „Energia geotermalna” oraz „Akumulatory (wspomaganie przesyłu energii)”. Mikroakcja „Podziemna elektrownia szczytowo-pompowa” wykazuje również dużą zgodność z wymaganiami taksonomii UE. Natomiast mikroakcja „Magazynowanie energii (ciecze ciężkie)”, ze względu na wczesny etap rozwoju, ma niższą zgodność z taksonomią UE niż inne, stosowane komercyjnie, metody magazynowania energii.

7.4. Synergia środowiska kopalni

Pod pojęciem potencjału synergistycznego (synergii) rozumie się możliwość integracji analizowanych akcji i mikroakcji z otoczeniem zamykanej kopalni, w szczególności w powiązaniu z innymi zakładami przemysłowymi, osiedlami mieszkaniowymi oraz firmami i instytucjami funkcjonującymi w jej sąsiedztwie. Wspólny potencjał tych podmiotów zostanie wykorzystany do stymulowania nowych inicjatyw gospodarczych, tworzenia miejsc pracy oraz generowania wartości ekonomicznej, ze szczególnym uwzględnieniem regionów górniczych w okresie transformacji. Działania te umożliwią aktualizację i wdrażanie terytorialnych planów sprawiedliwej transformacji.

Zgodnie z wytycznymi UE synergiczne podejście do transformacji regionów pogórniczych powinno ponadto uwzględniać zrównoważone zarządzanie dostępnymi zasobami, ograniczanie negatywnego wpływu na środowisko naturalne oraz wspieranie

lokalnych społeczności i rozwoju regionalnej gospodarki (Europejski Trybunał Obrachunkowy, 2022).

Potencjał synergii dla akcji „Ekopark przemysłowy” to: tworzenie miejsc pracy w regionie, co zmniejszy negatywny wpływ społeczny zamykania kopalni, przyciąganie przedsiębiorstw z różnych sektorów (zajmujących się na przykład przetwarzaniem surowców wtórnych) do współdzielenia zasobów oraz promowanie gospodarki o obiegu zamkniętym przez recykling i wykorzystywanie odpadów przemysłowych. Akcja ta ma bardzo wysoki potencjał synergii z lokalnymi społecznościami i przedsiębiorstwami, szczególnie w kontekście transformacji gospodarczej regionu.

Akcja „Magazynowanie energii (sole stopione)” również posiada wysoki potencjał synergii, w skład którego wchodzi: stabilizacja lokalnej sieci energetycznej, szczególnie w regionach z dużym udziałem odnawialnych źródeł energii, wspieranie przemysłu lokalnego przez zapewnianie dostępu do energii zmagazynowanej w godzinach szczytu oraz możliwość zmniejszania kosztów energii dla lokalnych użytkowników, dzięki efektywnemu zarządzaniu dostawami.

Dla akcji „Produkcja wodoru” na synergię składają się: zwiększanie zapotrzebowania na lokalne źródła energii odnawialnej (np. wiatrowej i fotowoltaicznej) jako zasilania dla procesu produkcji wodoru, możliwość wsparcia przemysłu lokalnego i transportu, zwłaszcza w sektorze transportu ciężkiego i komunikacji publicznej oraz wkład do dekarbonizacji regionu, zwiększanie konkurencyjności gospodarczej.

Akcji „Małe reaktory jądrowe” w niewielkim stopniu angażuje społeczności lokalne do bezpośredniej współpracy, co ogranicza jej zdolność do tworzenia synergii z otoczeniem w sposób typowy dla bardziej inkluzyjnych modeli, takich jak ekoparki przemysłowe. Choć akcja ta ma potencjał technologiczny, jej zastosowanie, w kontekście synergii, będą ograniczać wyzwania związane z kosztami, regulacjami, akceptacją społeczną i bezpieczeństwem.

Na potencjał synergii mikroakcji „Energia geotermalna” składają się: możliwość wykorzystania ciepła do ogrzewania budynków mieszkalnych, obiektów przemysłowych i ekoparków przemysłowych, wzmacnianie lokalnej gospodarki przez zmniejszanie kosztów ogrzewania i wsparcie zrównoważonych inicjatyw

energetycznych oraz ograniczanie emisji gazów cieplarnianych. Ma ona bardzo wysoki potencjał synergii, szczególnie w regionach o rozwiniętej infrastrukturze ciepłowniczej.

Systemy związane z mikroakcją „Magazynowania energii (ciecze ciężkie)” wymagają wysokiej precyzji technologicznej i zaawansowanych materiałów, co zwiększa koszty inwestycji. W przypadku mikroakcji „Podziemna elektrownia szczytowo-pompowa” adaptacja istniejących struktur kopalnianych do potrzeb związanych z systemami szczytowo-pompowymi może być skomplikowana i kosztowna, zwłaszcza, jeśli infrastruktura kopalni jest w złym stanie technicznym. Mikroakcja „Akumulatory (wspomaganie przesyłu energii)” generuje niewiele miejsc pracy, co ogranicza jej zdolność do wsparcia społeczności lokalnej w regionach pogórnich. Działania związane z tymi trzema mikroakcjami wymagają strategicznego planowania dla uniknięcia nadmiernych kosztów i zapewnienia zrównoważonej transformacji regionów pogórnich. Konieczne jest również uwzględnienie wsparcia finansowego i legislacyjnego ze strony UE.

7.5. Gospodarka o obiegu zamkniętym

Gospodarka o obiegu zamkniętym (GOZ) to koncepcja oparta na zrównoważonym modelu produkcji i konsumpcji, który zakłada maksymalne wykorzystanie istniejących zasobów przez dzielenie się, wynajem, ponowne użycie, naprawę, odnawianie oraz recykling materiałów i produktów. Kluczowym celem GOZ jest wydłużenie cyklu życia produktów, co w praktyce przekłada się na minimalizację generowania odpadów. Po zakończeniu cyklu życia produktu, jego materiały są ponownie wprowadzane do obiegu gospodarczego przez procesy recyklingu, przyczyniając się do tworzenia dodatkowej wartości ekonomicznej i środowiskowej (Dyrektywa 2018/851, 2018; Dyrektywa 2018/852, 2018).

W kontekście GOZ, akcja „Magazynowanie energii (sole stopione)” wpisuje się w strategię efektywnego wykorzystania zasobów energetycznych, redukując potrzebę korzystania z paliw kopalnych. Wyzwania związane z korozją materiałów w wysokich temperaturach oraz wysokimi kosztami instalacji mogą jednakże ograniczać szerokie zastosowanie tej technologii.

Akcja „Małe reaktory jądrowe”, w kontekście GOZ, stanowi potencjalne źródło stabilnej i niskoemisyjnej energii, które może przyczynić się do dekarbonizacji przemysłu. Istotne wyzwania związane z bezpieczeństwem jądrowym, zarządzaniem odpadami promieniotwórczymi oraz wysokimi kosztami początkowymi mogą stanowić jednak istotne bariery dla szerokiej akceptacji społecznej i ekonomicznej tej technologii.

W kontekście GOZ mikroakcje, które mogą zostać wdrożone w celu wykorzystania jej infrastruktury i zasobów dotyczą między innymi do wykorzystania podziemnej infrastruktury kopalń (ciepło z wód kopalnianych oraz odzysk surowców) oraz obiektów unieszkodliwiania odpadów górniczych (odzysk surowców).

W aspekcie wdrożenia zasad gospodarki o obiegu zamkniętym mogą być zatem rozpatrywane akcje „Ekopark przemysłowy” i „Produkcja wodoru” oraz mikroakcja „Energia geotermalna”.

7.6. Integracja sektorów

Integracja sektorów jest to proces łączenia różnych sektorów gospodarki, takich jak: energetyka, transport, przemysł, czy budownictwo, w sposób, który wspiera zrównoważony rozwój, zwiększa efektywność energetyczną oraz wpływa na redukcję emisji gazów cieplarnianych. UE dąży do zintegrowanego podejścia, czyli takiego, aby poszczególne sektory gospodarki współpracowały na rzecz osiągnięcia wspólnych celów klimatycznych i energetycznych (Dyrektywa 2023/1791, 2023; Dyrektywa 2023/2413, 2023).

Główne cele integracji sektorów według UE obejmują:

1. Osiągnięcie neutralności klimatycznej do 2050 roku – Europa dąży do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych, a integracja sektorów pomaga w optymalizacji wykorzystania energii odnawialnej i zmniejszeniu zależności od paliw kopalnych.
2. Zwiększenie efektywności energetycznej – integracja sektorów umożliwia lepsze wykorzystanie energii dzięki połączeniu różnych systemów (np. ciepło odpadowe z przemysłu może być używane w budownictwie).

3. Transformacja energetyczna – przez przejście na źródła odnawialne. UE integruje sektor energetyczny z innymi sektorami, na przykład promując rozwój transportu elektrycznego.
4. Zwiększenie współpracy między sektorami – dążenie do wspólnych rozwiązań, takich jak inteligentne sieci energetyczne czy magazynowanie energii, które umożliwia lepszą synchronizację sektorów i bardziej efektywne zarządzanie energią.
5. Rozwój gospodarki o obiegu zamkniętym – integracja sektorów wspiera również minimalizację odpadów i optymalizację cyklu życia produktów, przyczyniając się do bardziej zrównoważonego rozwoju.

Akcja „Magazynowanie energii (sole stopione)” umożliwia efektywne połączenie sektorów energetycznego i grzewczego, przechowując nadwyżki energii z OZE i przekształcając je w ciepło lub energię elektryczną. Dzięki temu zwiększa elastyczność systemu i pozwala lepiej bilansować podaż i popyt na energię.

Akcja „Ekopark przemysłowy” integruje systemy ogrzewania i chłodzenia z energią geotermalną, a także sektorem produkcji energii elektrycznej z OZE. Zapewnia synergiczne korzyści środowiskowe przez wzajemne uzupełnianie się źródeł energii oraz obieg zasobów.

Akcja „Małe reaktory jądrowe” ma ograniczone możliwości połączenia sektorów. Pozwala na dostarczanie stabilnej energii elektrycznej, ale ich zastosowanie do ogrzewania i chłodzenia budynków czy przemysłu jest mniejsze. Akcja wspiera stabilność sieci, lecz ich bezpośredni wkład w integrację sektorową jest ograniczony.

Akcja „Produkcja wodoru” pozwala na wiele połączeń sektorowych: z ogrzewaniem (przez odzysk ciepła odpadowego), gazownictwem (dodanie wodoru do sieci gazowej) oraz transportem (paliwo dla pojazdów). Technologia ta jest wszechstronna, wspiera dekarbonizację w wielu sektorach i oferuje duży potencjał integracji.

Najwyżej oceniane technologie to ekopark przemysłowy i produkcja wodoru z wód kopalnianych, które wspierają kompleksową integrację sektorową i dekarbonizację. Magazynowanie energii w solach stopionych także wyróżnia się jako wydajna

technologia wspierająca sektorową elastyczność, podczas gdy małe reaktory jądrowe mają bardziej ograniczoną rolę w integracji sektorowej.

Mikroakcja „Energia geotermalna” umożliwia połączenie z sektorem grzewczym przez zasilanie systemów ogrzewania i chłodzenia budynków, a także przemysłu. Jest stałym, odnawialnym źródłem energii, które może wspierać inne sektory przez ogrzewanie i chłodzenie na dużą skalę, na przykład. w ramach ekoparków przemysłowych.

Mikroakcja „Magazynowanie energii (ciecze ciężkie)” charakteryzuje się ograniczoną integracją międzysektorową, głównie do systemów grzewczych i chłodniczych. Wiąże się ona z wysokimi kosztami infrastruktury i trudnościami w adaptacji na szeroką skalę. Wykorzystanie cieczy ciężkich jest technicznie skomplikowane, co może zwiększać koszty operacyjne i ograniczać dostępność tej technologii dla mniejszych przedsiębiorstw i budynków mieszkalnych.

Mikroakcja „Podziemna elektrownia szczytowo-pompowa”, choć może wspierać stabilność sieci, jej integracja z innymi sektorami (na przykład grzewczym, transportowym), jest minimalna, a duże koszty inwestycji i potrzeba odpowiedniej infrastruktury sprawiają, że technologia ta jest trudno dostępna i często opłacalna jedynie dla dużych przemysłowych projektów.

Mikroakcja „Akumulatory (wspomaganie przesyłu energii)” jest kluczowa dla zapewnienia stabilności sieci i elastyczności systemu energetycznego, zwłaszcza w połączeniu z odnawialnymi źródłami energii. Jednak jej ograniczenia związane z pojemnością, żywotnością i kosztami produkcji, mogą stanowić przeszkodę w pełnym wdrożeniu.

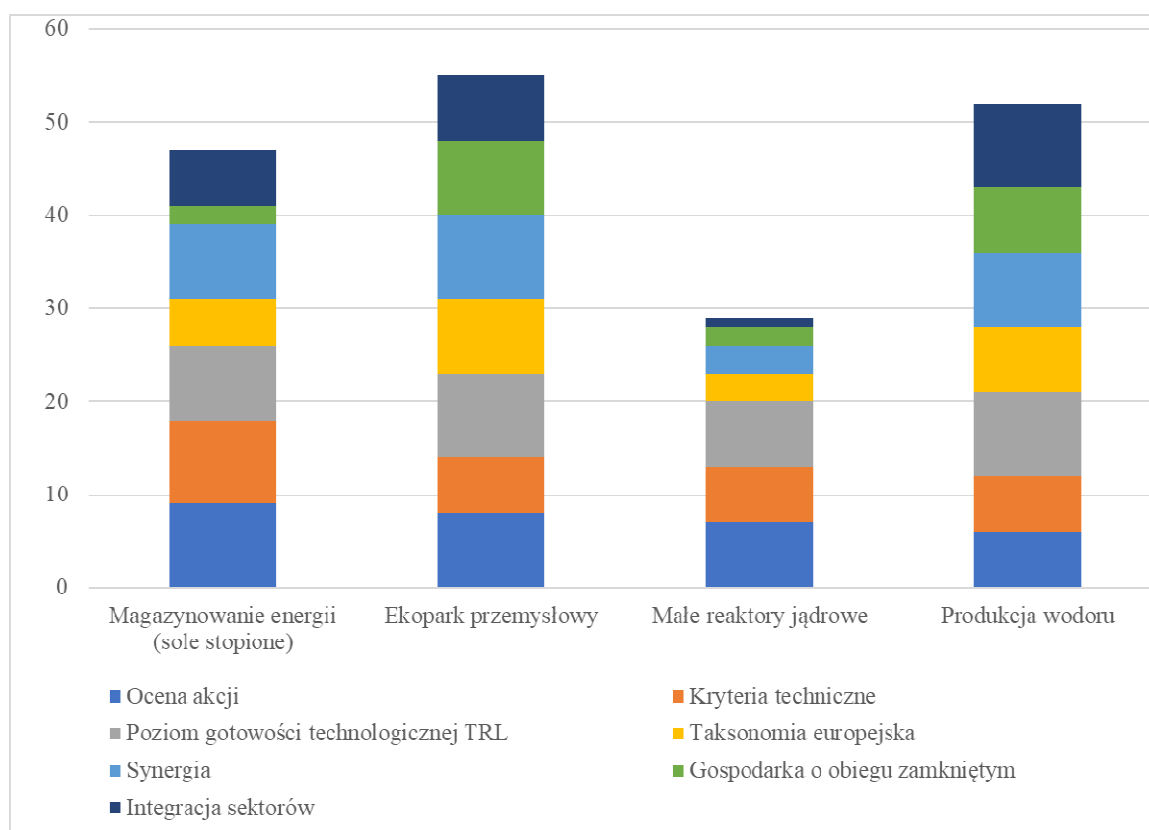
7.7. Uzasadnienie wyboru modelu biznesowego – wyniki

Wyniki uzyskano, przeprowadzając analizę ekspercką z zastosowaniem metody Delphi (dane ekspertów wg tabeli 7.1). Grupa ekspertów oceniała każdy z aspektów w skali od 1 (najniższa ocena) do 9 (najwyższa ocena).

Wyniki przeprowadzone dla akcji przedstawiono w tabeli 7.4 i na rysunku 7.1.

Tabela 7.4. Wyniki oceny dla poszczególnych akcji (opracowanie własne)

Aspekty	Magazynowanie energii (sole stopione)	Ekopark przemysłowy	Małe reaktory jądrowe	Produkcja wodoru
Ocena akcji	9	8	7	6
Kryteria techniczne	7	6	7	6
Poziom gotowości technologicznej TRL	8	9	7	9
Taksonomia europejska	7	8	3	7
Synergia	8	9	3	8
Gospodarka o obiegu zamkniętym	2	8	2	7
Integracja sektorów	6	7	3	9
Suma	47	55	32	52



Rys. 7.1. Ocena akcji (opracowanie własne)

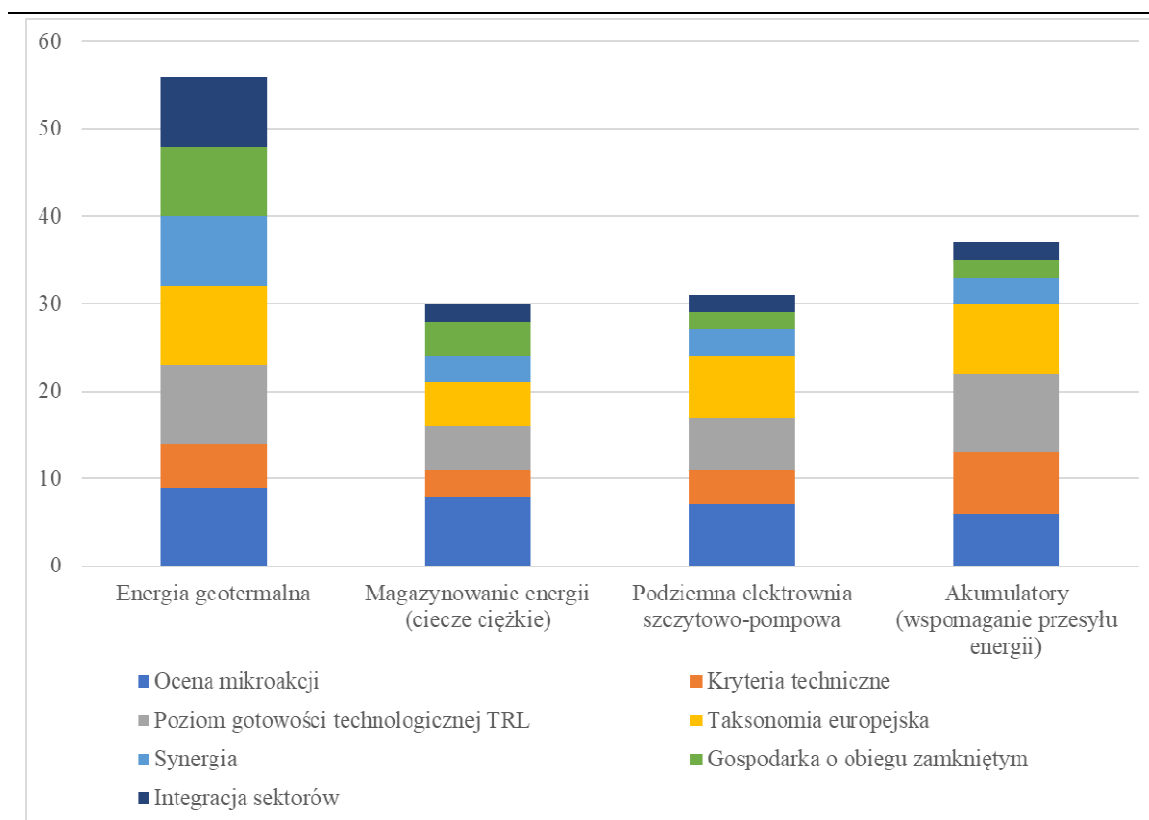
Najwyższą sumaryczną liczbę punktów równą 55 uzyskała akcja „Ekopark przemysłowy” i akcję tę należy rozważyć jako wyjściową. Biorąc pod uwagę konieczność zapewnienia akcji „Ekopark przemysłowy” zasilania w energię pochodzącą ze źródeł odnawialnych zasadne jest uzupełnienie tej akcji o akcję „Wirtualna elektrownia”. Połączenie tych akcji wydaje się być podstawową opcją wykorzystania zasobów i infrastruktury zamykanych kopalń.

Pod rozwałę należy również wziąć akcję „Produkcja wodoru”, która uzyskała 52 punkty i „Magazynowanie energii (sole stopione)”, która uzyskała 47 punktów. Akcja „Małe reaktory jądrowe”, na obecnym etapie rozwoju tej technologii oraz w jej nawiązaniu do innych przyjętych kryteriów, jest mało perspektywiczna.

Wyniki przeprowadzone dla mikroakcji przedstawiono w tabeli 7.5 i na rysunku 7.2.

Tabela 7.5. Wyniki oceny dla poszczególnych mikroakcji (opracowanie własne)

Aspekty	Energia geotermalna	Magazynowanie energii (ciecze ciężkie)	Podziemna elektrownia szczytowo-pompowa	Akumulatory (wspomaganie przesyłu energii)
Analiza wielokryterialna mikroakcji	9	8	7	6
Kryteria techniczne	5	3	4	7
Poziom gotowości technologicznej TRL	9	5	6	9
Taksonomia europejska	9	5	7	8
Synergia	8	3	3	3
Gospodarka o obiegu zamkniętym	8	4	2	2
Integracja sektorów	8	2	2	2
Suma	56	30	31	37



Rys. 7.2. Ocena mikroakcji (opracowanie własne)

Najwyższą liczbę punktów uzyskała mikroakcja „Energia geotermalna” – 56 punktów, na drugim miejscu uplasowała się mikroakcja „Wspomaganie przesyłu energii (akumulatory)”.

Z uwagi na fakt, że wymienione wyżej akcje wykorzystują zasoby i infrastrukturę powierzchniową kopalń, do dalszych rozważań przyjęto mikroakcje „Wspomaganie przesyłu energii (akumulatory)” – gdyż, oprócz wysokiej liczby uzyskanych punktów uzupełnia ona zadania/technologie przyjętych akcji.

Mikroakcja „Energia geotermalna”, choć uzyskała najwyższy wynik wśród analizowanych mikroakcji wymaga jednak utrzymania części podziemnej kopalni, w tym szybu/szybów kopalnianych, co wiąże się z wysokimi kosztami.

8. Wskaźnikowa analiza modelu biznesowego

Zgodnie z wcześniej rozpatrywanymi aspektami Polityki Zielonego Ładu, oceną kryteriów kluczowych, rozeznaniem związanym z poziomem gotowości technologicznej TRL dla proponowanych w scenariuszach technologii, powiązań z taksonomią europejską, potencjałem synergicznym oraz w oparciu o zasady gospodarki o obiegu zamkniętym najbardziej obiecującym wyborem modelu biznesowego jest akcja „Ekopark przemysłowy”. Głównym celem tej akcji jest prowadzenie działalności gospodarczej na terenie zamykanej kopalni węgla, z uwzględnieniem redukcji ilości wytwarzanych odpadów i zanieczyszczeń w porównaniu do podobnej działalności prowadzonej na innych terenach. Działania te będą wspierane przez promowanie transportu krótkodystansowego oraz optymalizację przepływu materiałów, zasobów i energii.

W ekoparkach przemysłowych zostaną wdrożone zrównoważone technologie produkcji energii, w tym wytwarzanie i magazynowanie energii słonecznej i wiatrowej oraz wykorzystanie energii geotermalnej z wód kopalnianych do chłodzenia i ogrzewania firm uczestniczących w ekoparku przemysłowym.

Ekoparki przemysłowe mogą zostać uzupełnione o instalacje do produkcji zielonego wodoru, dzięki ich wysokiemu TRL, pod warunkiem uzyskania określonych korzyści ekonomicznych i osiągnięcia zrównoważonych wyników finansowych. Możliwe są również inne rozwiązania, które należy rozważyć w kontekście uzasadnienia wyboru modelu biznesowego dla głównych i dodatkowych działań – na przykład magazynowanie energii w solach stopionych lub wspomaganie przesyłu energii.

Biorąc pod uwagę dotychczas przeprowadzone badania i analizy, w tym bliskie powiązania morfologiczne między akcjami „Ekopark przemysłowy” i „Wirtualna elektrownia”, a także fakt, że obie akcje wzajemnie się wspierają i uzupełniają, jako bazowy model biznesowy przyjęto ekopark przemysłowy połączony z wirtualną elektrownią. Model ten będzie następnie rozbudowywany o dodatkowe akcje lub mikroakcje.

Analizie wskaźnikowej poddano trzy warianty biznesowe:

- Ekopark przemysłowy z wirtualną elektrownią wraz z produkcją wodoru.

- Ekopark przemysłowy z wirtualną elektrownią z magazynowaniem energii w solach stopionych.
- Ekopark przemysłowy z wirtualną elektrownią, połączony ze wspomaganie przesyłu energii (akumulatory).

Wskaźniki rezultatu, które zostały opracowane z uwzględnieniem celów określonych w Europejskim Zielonym Ładzie, zasady taksonomii UE oraz wskaźniki polityki regionalnej dla Funduszu na rzecz Sprawiedliwej Transformacji (Komisja Europejska, 2018; Rozporządzenie 1300/2013, 2013; Rozporządzenie 1301/2013, 2013; SWD(2021), 2021), przedstawiono w tabeli 8.1.

Tabela 8.1. Tabela wskaźników rezultatu według wytycznych Europejskiego Zielonego Ładu

Lp.	Wskaźnik rezultatu	Efekt	Powiązanie z Europejskim Zielonym Ładem
1	Zatrudnienie w pełnym wymiarze czasu pracy	Liczba miejsc pracy stworzonych w ramach realizowanych projektów	Wspieranie zrównoważonego zatrudnienia i mobilności pracowników
2	Nowi badacze zatrudnieni w pełnym wymiarze godzin	Liczba naukowców i pracowników badawczych zatrudnionych dzięki wsparciu funduszy	Wspieranie badań, rozwoju technologicznego i innowacji
3	Firmy wdrażające innowacyjne procesy/produkty	Liczba przedsiębiorstw, które wdrożyły nowe technologie, procesy lub produkty	Wspieranie przejścia na gospodarkę niskoemisyjną oraz promowanie innowacji
4	Zgłoszenia patentowe złożone do EPO	Liczba patentów zgłoszonych do Europejskiego Urzędu Patentowego	Wspieranie badań i rozwoju technologicznego oraz wzrostu konkurencyjności regionów
5	Odbiorcy energii podłączeni do inteligentnych sieci	Liczba odbiorców końcowych korzystających z systemów inteligentnych sieci energetycznych	Wspieranie efektywności energetycznej i integracji zrównoważonych technologii
6	Moc energii wytwarzanej ze źródeł odnawialnych	Moc zainstalowana w projektach wykorzystujących odnawialne źródła energii	Promowanie czystej i odnawialnej energii
7	Efektywność energetyczna	Ilość energii zaoszczędzonej dzięki wdrożeniu działań w projektach	Redukcja emisji gazów cieplarnianych i poprawa efektywności energetycznej
8	Szacowana emisja gazów cieplarnianych	Ilość zredukowanej emisji gazów cieplarnianych w trakcie eksploatacji projektów	Ochrona środowiska i walka ze zmianami klimatu
9	Tony odpadów poddanych recyklingowi	Ilość odpadów zebranych i przetworzonych w ramach projektów recyklingowych	Promowanie gospodarki o obiegu zamkniętego i efektywnego wykorzystania zasobów
10	Przestrzeń wymagana do realizacji opcji	Powierzchnia gruntów niezbędna do wdrożenia inwestycji	Efektywne gospodarowanie zasobami ziemi
11	Poprawa jakości usług w ramach ekoparku przemysłowego	Zwiększenie jakości oferowanych usług przez wykorzystanie innowacyjnych technologii i procesów	Zrównoważony rozwój i poprawa konkurencyjności lokalnych przedsiębiorstw.

12	Korzyści/zwrot z inwestycji	Oczekiwana wartość ekonomiczna wynikająca z realizacji projektów w danym regionie	Promowanie gospodarki opartej na innowacji i zrównoważonym rozwoju ekonomicznym
13	Potencjał do wspierania innych działań biznesowych	Ocena, w jakim stopniu dane inwestycje mogą wspierać rozwój innych sektorów gospodarki	Wspieranie współpracy międzysektorowej i innowacji
14	Stopień bezpieczeństwa energetycznego	Ocena poprawy bezpieczeństwa dostaw energii dzięki realizacji projektów	Wzmocnienie bezpieczeństwa energetycznego regionów
15	Ograniczenie wpływu na środowisko (LCA)	Kompleksowa ocena cyklu życia projektów w kontekście ich wpływu na środowisko naturalne	Ochrona środowiska naturalnego
16	Wpływ na środowisko w miejscu działalności	Minimalizacja wpływu na lokalne środowisko w wyniku realizacji projektów	Promowanie zrównoważonego rozwoju i redukcji wpływu na środowisko
17	Wzrost konkurencyjności regionu	Ocena wzrostu atrakcyjności regionu dla inwestorów i przedsiębiorstw dzięki wdrożeniu projektów	Wzmacnianie gospodarki regionalnej przez inwestycje w innowacje

Do oceny wpływu wskaźników bezpośrednich na modele biznesowe przyjęto następującą skalę:

1. Wpływ niski (wartość 1).
2. Wpływ średnio-niski (wartość 2).
3. Wpływ średni (wartość 3).
4. Wpływ średnio-wysoki (wartość 4).
5. Wpływ wysoki (wartość 5).

Dla uzyskania wyników przeprowadzono dwie tury analizy eksperckiej z udziałem ekspertów podzielonych na pięć grup (tabela 8.2): jedna grupa z Polski (grupa nr 1 – naukowcy plus praktycy), dwie grupy z Hiszpanii (grupa nr 2 – naukowcy i grupa nr 3 – praktycy) oraz po jednej grupie z Grecji (grupa nr 4 – praktycy i naukowcy) oraz z Niemiec (grupa nr 5 – naukowcy).

*Tabela 8.2. Dane dotyczące ekspertów biorących udział w badaniach metodą Delphi
(opracowanie własne)*

Grupa	Liczba ekspertów	Lata doświadczenia ekspertów (średni okres)	Zakres wskaźnika kompetencji ekspertów K_k
1	15	5–35 (20)	0,7–1,0
2	4	20–30 (24)	0,7–1,0
3	4	20–30 (25)	0,5–0,8
4	6	4–30 (14)	0,5–1,0
5	7	4–30 (23)	0,7–1,0

W pierwszej rundzie w każdej grupie ekspertów dokonano oceny metodą Delphi. Ocena bazowała na wiedzy ekspertów. W drugim etapie porównano uzyskane wyniki i w razie konieczności dokonano wspólnej oceny w ramach wszystkich grup, celem osiągnięcia konsensusu.

Taki sposób przeprowadzenia badania eksperckiego metodą Delphi pozwolił w pierwszym etapie ekspertom przeprowadzić ocenę ze szczególnym uwzględnieniem warunków lokalnych, charakterystycznych dla górnictwa/przemysłu wydobywczego w ich krajach. Drugi etap – w którym skonfrontowano wyniki z każdej grup, a następnie, w sytuacjach dużych rozbieżności, szukano konsensusu, miał już charakter dużo bardziej uniwersalny i pozwolił na uzyskanie wyników.

Średnie wartości wskaźników rezultatów bezpośrednich uzyskane po drugiej rundzie badań eksperckich metodą Delphi zostały przedstawione w tabeli 8.3. Łączne wyniki zawiera aneks nr 8.

Tabela 8.3. Wskaźniki rezultatów bezpośrednich dla wybranych akcji oraz mikroakcji, jako złożonego modelu biznesowego (opracowanie własne)

Nr	Wskaźniki rezultatów bezpośrednich	Ekopark przemysłowy z wirtualną elektrownią oraz:		
		Produkcja wodoru	Magazynowanie energii (sole stopione)	Akumulatory (wspomaganie przesyłu energii)
1	Zatrudnienie w pełnym wymiarze czasu pracy	3,80	3,20	1,60
2	Nowi badacze zatrudnieni w pełnym wymiarze godzin	3,00	1,80	1,40
3	Firmy wdrażające innowacyjne procesy/produkty	4,20	2,00	2,50
4	Zgłoszenia patentowe złożone do EPO	3,00	2,40	2,20
5	Odbiorcy energii podłączeni do inteligentnych sieci	3,60	3,80	3,80
6	Moc energii wytwarzanej ze źródeł odnawialnych zainstalowanej i podłączonej do sieci	3,60	4,20	3,60
7	Efektywność energetyczna	1,80	3,60	4,00
8	Szacowana emisja gazów cieplarnianych na niskim poziomie w trakcie okresu eksploatacji	4,60	4,20	3,60

*Metoda oceny możliwości wykorzystania infrastruktury oraz zasobów kopalń węgla kamiennego
po zakończeniu eksploatacji*

9	Tony odpadów poddanych recyklingowi	4,00	3,00	1,00
10	Przestrzeń wymagana do realizacji opcji	2,40	3,12	4,20
11	Poprawa jakości oferowanych usług w ramach ekoparku przemysłowego	4,00	3,00	2,80
12	Korzyści/zwrot z inwestycji	3,20	2,80	3,00
13	Potencjał do wspierania innych działań biznesowych	4,70	2,30	2,80
14	Stopień bezpieczeństwa energetycznego	4,00	3,60	4,00
15	Ograniczenie wpływu na środowisko – LCA	4,75	4,25	3,25
16	Wpływ na środowisko w miejscu działalności	4,20	3,80	4,00
17	Wzrost konkurencyjności regionu	4,40	2,80	2,40
Suma punktów		63,25	53,87	50,15

Model biznesowy ekoparku przemysłowego połączonego z wirtualną elektrownią, uzupełniony o produkcję wodoru, uzyskał najwyższą ocenę w kryteriach związanych z zatrudnieniem, firmami wdrażającymi innowacje, recyklingiem odpadów, potencjałem do wspierania innych działań biznesowych oraz ograniczeniem wpływu na środowisko. Charakteryzuje się on największym potencjałem do generowania korzyści społecznych (np. zatrudnienie) i ekologicznych (np. redukcja emisji gazów cieplarnianych). Wysoka punktacja w kategoriach, takich jak wzrost konkurencyjności regionu i bezpieczeństwo energetyczne, potwierdza jego strategiczne znaczenie.

Model biznesowy ekoparku przemysłowego połączonego z wirtualną elektrownią, uzupełniony o magazynowanie energii (sole stopione), osiągnął najwyższą ocenę w kryterium mocy energii wytwarzanej ze źródeł odnawialnych, co wskazuje na silny potencjał do produkcji energii z OZE. Wysoka punktacja w efektywności energetycznej i redukcji emisji gazów cieplarnianych, pokazuje jego zdolność do wspierania transformacji energetycznej. Niższe wyniki w kategoriach związanych z innowacyjnością i wsparciem działań biznesowych (np. firmy wdrażające innowacje) ograniczają jego konkurencyjność w porównaniu do modelu z produkcją wodoru.

Model biznesowy ekoparku przemysłowego połączonego z wirtualną elektrownią, uzupełniony o akumulatory (wspomaganie przesyłu energii), wyróżnia się najwyższą oceną w kategorii przestrzeń wymagana do realizacji opcji, co wskazuje na kompaktowy charakter tego rozwiązania. Osiąga dobre wyniki w kryteriach, takich jak bezpieczeństwo energetyczne i efektywność energetyczna, ale jego potencjał do wspierania innych działań biznesowych oraz konkurencyjność regionu, są niższe w porównaniu z pozostałymi dwoma modelami. Najslabiej wypadł w kryteriach, takich jak recykling odpadów i nowi badacze zatrudnieni w pełnym wymiarze godzin, co ogranicza jego ekologiczne i innowacyjne walory.

Wartością dodaną przeprowadzonych analiz jest możliwość oceny scenariuszy zagospodarowania wycofanych z eksploatacji kopalń węgla oraz ich integracji z powiązanymi, sąsiadującymi gałęziami przemysłu. Uzyskane wyniki, oparte na badaniach eksperckich, mają charakter ogólny, co oznacza, że nie odnoszą się bezpośrednio do konkretnej lokalizacji. Są one zgodne z wiedzą i doświadczeniem zaangażowanych ekspertów, jednak nie uwzględniają specyficznych uwarunkowań lokalnych.

Opracowana metoda stanowi istotne narzędzie, które może być zastosowane do oceny potencjału wykorzystania zlikwidowanych kopalń węgla kamiennego. Każdy z analizowanych parametrów ma znaczący wpływ na wyniki badań i odgrywa kluczową rolę w wyborze najbardziej optymalnej technologii, dostosowanej do określonych potrzeb i możliwości.

9. Określenie potencjalnej żywotności kopaliń prowadzących podziemną eksploatację węgla energetycznego w Polsce

Przedstawione w poprzednich rozdziałach badania i analizy dotyczące wykorzystania potencjału likwidowanych kopaliń wskazały kierunki ich rozwoju. W niniejszym rozdziale przedstawiono prognozę żywotności kopalni, w których będzie możliwe wdrożenie opracowanych modeli biznesowych. Przeprowadzone analizy pozwolą również na ogólną ocenę potencjału wydobywczego dla produkcji węgla kamiennego dla potrzeb energetyki.

Energetyka krajowa pomimo istotnych działań związanych z dywersyfikacją źródeł energii (w tym głównie w kierunku energii odnawialnej) jest nadal oparta na węglu. W 2021 roku ze spalania węgla kamiennego pochodziło 63,60% produkowanej energii, przy 46,87% mocy energetycznej opartej na tym surowcu (Naworyta, 2023). Mimo widocznej tendencji spadkowej nie sposób zaprzeczyć, że bezpieczeństwo energetyczne Polski jest oparte na węglu (zarówno brunatnym, jak i kamiennym), którego zasoby znajdują się na terenie naszego kraju. Transformacja energetyczna w kierunku odnawialnych źródeł energii (OZE) wynika z polityki przyjętej przez Unię Europejską (Dyrektywa UE 2018/2001, 2018). Sytuacja geopolityczna nie tylko Europy wymaga jednak zastanowienia się nad sposobem i trybem spełnienia wymogów transformacji energetycznej przy zapewnieniu bezpieczeństwa energetycznego Polski.

Produkcja węgla w Polsce od kilkadziesiąt lat systematycznie spada (Frejowski i in., 2021). W przypadku braku produkcji krajowej, mimo zmniejszającego się zapotrzebowania, będzie wzrastał import tego surowca. Choć większość krajów UE zakończyła już produkcję węgla, to tempo spadku jego konsumpcji jest znacznie wolniejsze. To z kolei prowadzi do rosnącej zależności od importu tego surowca, co w obecnej sytuacji geopolitycznej stanowi niekorzystne rozwiązanie zarówno dla Polski, jak i pozostałych państw członkowskich UE (Bijańska i Wodarski, 2024).

W 1989 roku na obszarze GZW było czynnych 65 zakładów górniczych (nie licząc KWK Budryk w budowie), a roczne wydobywanie w tych kopalniach wynosiło około 170 milionów ton (Janusz; Jureczka i Galos, 2007; Probierz, 2015). Po 34 latach transformacji eksploatację na obszarze GZW prowadzi 19 kopaliń, w których na

początku roku 2024 zatrudnionych było 68 828 pracowników, a w roku 2023 wydobyto około 47,5 miliona ton węgla (WUG, 2024).

Wydaje się konieczne opracowanie prognozy żywotności kopalń węgla kamiennego prowadzących eksploatację węgla energetycznego. Przedstawiane dotychczas prognozy eksploatacji węgla kamiennego różnią się znacznie (Saługa i in., 2015; Sobczyk i in., 2016; Szuflicki i in., 2024). Różnice te wynikają ze sposobu podejścia do określania żywotności kopalń, przez między innymi wykonanie prognozy dla wybranej kategorii rozpoznania zasobów z uwzględnieniem średniego wydobycia lub uwzględnieniem zasobów nieudostępniowanych czy znajdujących się w polach rezerwowych. Zaproponowana prognoza żywotności kopalń węgla kamiennego, oprócz aspektów związanych ze złożem uwzględnia również bezpieczeństwo prowadzenia eksploatacji związanej z jej skrzepowaniem z powodu dużych głębokości oraz występowania zagrożeń naturalnych. Założono również, że analizuje się sytuację bieżącą kopalń, bez uwzględniania teoretycznej – praktycznie niemożliwej do wykonania – sytuacji z udostępnianiem nowych zasobów przez rozcinanie pól rezerwowych, głębienie lub budowę nowych szybów, czy budowę nowych poziomów wydobywczych.

9.1. Kryteria określające żywotność kopalń węgla kamiennego

Dla przedstawienia prognozy żywotności wybranych do analiz kopalń opracowano kryteria związane z założonymi aspektami oceny, które podzielono na dwie grupy:

- Kryteria związane ze skrzepowaniem eksploatacji. Poziom zagrożeń naturalnych ma istotny wpływ na prowadzenie podziemnej eksploatacji węgla kamiennego (Bradecki i Dubiński, 2005).
- Kryteria związane z jakością zasobów i poziomem skomplikowania dostępu do nich.

W procesie wyboru kryteriów przeprowadzono dwie rundy badania Delphi. W pierwszej rundzie, po analizie literatury i wstępnym zdefiniowaniu potencjalnych kryteriów, eksperci – zarówno praktycy, jak i naukowcy – ocenili zaproponowane kryteria oraz zgłosili dodatkowe sugestie, uwzględniając swoje doświadczenia i wiedzę. Po analizie ich odpowiedzi wyniki zostały zsyntetyzowane, a lista kryteriów została uzupełniona i skorygowana. W drugiej rundzie eksperci ponownie przeanalizowali

zmodyfikowaną listę, co pozwoliło na osiągnięcie konsensusu dotyczącego finalnego zestawu kluczowych kryteriów. Dzięki temu procesowi udało się wypracować kryteria, które były zarówno merytorycznie uzasadnione, jak i praktyczne w zastosowaniu.

W grupie kryteriów opisujących poziom skomplikowania eksploatacji wyróżniono następujące kryteria:

1. Kryterium **zagrożenia gazowego** zdefiniowane jako ilość zdarzeń związanych z zapaleniem i/lub wybuchem metanu w podziemnej części kopalń w danym interwale czasowym. Zagrożenie metanowe rozumiane jest jako możliwość wystąpienia zapalenia i/lub wybuchu metanu – wraz z zagrożeniem wybuchem pyłu węglowego stanowi najbardziej katastrofogenne zagrożenie w górnictwie węgla kamiennego (Szlazak i in, 2013; Burtan i in., 2017; Song i in, 2021). Zagrożenie metanowe wzrasta wraz ze zwiększaniem się głębokością eksploatacji, a także ze zwiększaniem postępu eksploatacji (Frejowski, 2013; Kędzior i Dreger, 2019). W 2020 roku w polskich kopalniach węgla kamiennego eksploatację prowadzono 137 ścianami, z czego 25 ścian (18,25%) prowadzono w pokładach niemetanowych, natomiast 112 ścian (87,75%) w pokładach metanowych – z czego 63 ściany wydobywcze w warunkach najwyższej IV kategorii zagrożenia metanowego (Litwa, 2022).
2. Kryterium **zagrożenia pożarowego** opisane jako ilość pożarów endogenicznych zaistniałych na dole kopalni w danym interwale czasowym. Zagrożenie pożarami endogenicznymi wynika z naturalnej skłonności węgla do samozapłonu (dotyczy ono wszystkich kopalń węgla kamiennego, gdzie dodatkowo występuje wiele czynników geologiczno-górnich potęgujących to zagrożenie) (Szlazak, Borowski i Obracaj, 2008; Burtan i in., 2017). Rozwój pożarów endogenicznych nie jest procesem gwałtownym, w przeciwieństwie do pożarów egzogenicznych, które są spowodowane czynnikami zewnętrznymi. Zbyt późne wykrycie pożaru endogenicznego stanowi realne zagrożenie dla pracowników kopalni oraz powoduje wymierne straty ekonomiczne w związku koniecznością otamowania rejonu kopalni i wstrzymania wydobywania (Kordos, 2019).
3. Kryterium **zagrożenia sejsmicznego** zdefiniowane jako liczba wstrząsów wysokoenergetycznych w danej kopalni czy ruchu wydobywczym. Podziemna eksploatacja złóż węgla w GZW powoduje naruszenie równowagi w rozkładzie

naprężeń górotworu, zarówno w bezpośrednim, jak i dalszym otoczeniu wyrobisk górniczych (Kabiesz, 2016; Konopko, 2010). Konsekwencją tego procesu jest między innymi występowanie wstrząsów sejsmicznych. Intensywność zjawisk sejsmicznych w kilku rejonach GZW (niecce bytomskiej, siodle głównym, niecce głównej, niecce kazimierzowskiej oraz niecce jejkowickiej) jest bardzo zróżnicowana, począwszy od wstrząsów niewyczuwalnych przez ludzi, do silnych o charakterze słabych trzęsień Ziemi (Kabiesz, 2016; Stec i Lurka, 2015). Kryterium wstrząsów wysokoenergetycznych określono jako liczbę wstrząsów, o energii rzędu 10^5 J lub większej, które zaistniały w danej kopalni/ruchu w danym interwale czasowym.

4. Kryterium **zagrożenia tąpnięciami** to liczba zdarzeń zakwalifikowanych w kopalni/ruchu wydobywczym jako tąpnięcia/odprężenia w danym interwale czasowym (Frejowski i Kabiesz, 2020).
5. Kryterium **zagrożenia pyłowego** zdefiniowano jako liczbę wybuchów pyłu węglowego w wyrobiskach podziemnych kopalni w danym interwale czasowym. W obszarze GZW wszystkie kopalnie stosują profilaktykę zagrożenia wybuchem pyłu węglowego, którą jest opylanie wyrobisk pyłem kamiennym (Więckol-Ryk i Trojnar, 2015), zmywanie wyrobisk wodą (Prostański, 2013, Prostański, 2017), lub zraszanie powietrzno-wodnego (Prostański, 2012). Zagrożenie wybuchem pyłu węglowego, oprócz zagrożenia metanowego i pożarami endogenicznymi, stanowi przyczynę największych katastrof górniczych. Dzięki stosowaniu właściwej profilaktyki ostatnia katastrofa związana z wybuchem pyłu węglowego, niewywołanego wybuchem metanu, miała miejsce w 2002 roku w kopalni Jas-Mos. Ostatnia natomiast katastrofa związana z wybuchem pyłu węglowego połączonego z wybuchem metanu miała miejsce w kopalni Mysłowice-Wesoła w 2008 roku (Burtan i in., 2017).
6. Kryterium **zagrożenia klimatycznego** opisane jako kryterium kategorii klimatycznej wyrobisk dołowych kopalni/ruchu w interwale czasowym. W związku z szczypaniem się złóż węgla na udostępnionych poziomach na średnich głębokościach, coraz częściej prowadzi się eksploatację poniżej 1000 m. Temperatura pierwotna skał jest tam dużo wyższa od 40 °C i niejednokrotnie osiąga 50 °C, co znacznie utrudnia prowadzenie eksploatacji (Knechtel, 2007, Szlązak, Obracaj i Borowski, 2008).

7. Kryterium **zagrożenia wodnego** opisane jako ilość niekontrolowanych wypływów wody ze stref uskokowych lub wdarcie się wody/kurzawek do wyrobisk górniczych w danym interwale czasowym. Zagrożenie wodne w kopalniach na obszarze GZW związane jest także z chemizmem wód kopalnianych, a także z koniecznością zabezpieczania czynnych kopalń przed wodami kopalnianymi sąsiednich, zlikwidowanych kopalń (Bondaruk i in., 2015). Zagrożenie wodne w kopalniach GZW zmienia się zatem wraz z restrukturyzacją górnictwa i zamykaniem kolejnych ruchów/kopalń. Zdarzenia typu wdarcie się wody/kurzawek zdarzają się w kopalniach GZW sporadycznie. Ostatnim zdarzeniem tego typu było wdarcie się wody do wyrobisk kopalni Knurów-Szczygłowice w 2013 roku (Niedbalska i in., 2015)
8. Kryterium **zagrożenia wyrzutami gazów i skał** zdefiniowane jako ilość wyrzutów gazów/węgla/skał w kopalni/ruchu w interwale czasowym. Zagrożenie wyrzutami gazów i skał było powszechne w kopalniach węgla zlokalizowanych w DZW (Gogolewska, 2016), ale występuje także w obszarze GZW w kopalniach należących do JSW SA (Bukowska i Gawryś, 2010). Ostatnie zdarzenie związane z wyrzutem gazów i skał miało miejsce w KWK Budryk w roku 2012 (Burtan, 2016).
9. Kryterium **zagrożenia zawałowego/opadem skał** opisane jako kryterium liczby zawałów i obwałów skał w wyrobiskach dołowych w kopalni/ruchu w interwale czasowym. Zagrożenie związane z zawałem skał stropowych jest częstym problemem w podziemnych kopalniach węgla, na ogół nieprzewidywalnym. Zagrożenie to wynika z warunków geologicznych i geomechanicznych złoża kopalni, co znacznie utrudnia ich predykcje (Düzgün, 2005).
10. Kryterium **zagrożeń skojarzonych** zdefiniowane jako współwystąpienie zagrożeń naturalnych w kopalni/ruchu w danym interwale czasowym. Jako zagrożenie skojarzone rozumie się te zagrożenia naturalne, które, współlistniejąc, wzajemnie wpływają na inicjacje, intensywność oraz przejawy swojego występowania (Kabiesz, 2016).

W grupie kryteriów określających jakość zasobów i poziom skomplikowania dostępu do nich wyróżniono następujące kryteria:

11. Kryterium **głębokości eksploatacji** zdefiniowane jako maksymalna głębokość eksploatacji węgla w danej kopalni. W 1989 roku średnia głębokość eksploatacji wynosiła 524 m, w 2010 roku wynosiła około 700 m (Konopko, 2010), natomiast w 2022 roku około 800 m (GIG, 2024). W warunkach GZW średnia głębokość eksploatacji wzrasta każdego roku o około 8–10 m, co wiąże się z coraz częstszym prowadzeniem eksploatacji podziemnej (poniżej najgłębszego poziomu eksploatacyjnego kopalni).
12. Kryterium **miąższości pokładów węgla** definiuje się jako grubość pokładów węgla kamiennego, które spełniają kryteria bilansowości. Miąższość pokładów węgla jest podstawowym parametrem decydującym o wyborze technologii eksploatacji. Minimalna miąższość pokładu, zgodnie z obowiązującymi kryteriami bilansowości, powinna wynosić powyżej 0,6 m. Ze względu na efektywność eksploatacji, do zasobów przemysłowych kwalifikują się jedynie pokłady o miąższości powyżej 1,2 m (Sobczyk i in., 2016).
13. Kryterium **typu węgla** zdefiniowane jako dominujący typ/typy węgla występującego w danej kopalni (Gabzdyl i in., 2004). W polskich kopalniach węgla kamiennego najbardziej rozpowszechnione są węgle energetyczne (w polskiej klasyfikacji jest to węgiel typu od 31 do 33). Stanowią one około 70% dostępnych zasobów przemysłowych (Szuflicki i in., 2024). Węgle koksowe stanowią około 30% zasobów, z przewagą węgla typu 34 (Saługa i in., 2015; Sobczyk i Nieć, 2017).
14. Kryterium **zawartości siarki** w węglu zdefiniowane jako zawartość procentowa związków siarki węgla. Kryterium zawartości siarki w węglu określa udział procentowy związków siarki w tym paliwie (Probierz i Marcisz, 2001). Zawartość siarki jest istotnym parametrem jakościowym, ponieważ wpływa na emisję szkodliwych gazów, takich jak dwutlenek siarki (SO₂), podczas spalania węgla. Zawartość siarki powyżej 2% wymaga zastosowania technologii odsiarczania, aby ograniczyć emisję SO₂ zgodnie z regulacjami środowiskowymi (Sobczyk i in., 2016).
15. Kryterium **wielkości obszaru górniczego** definiuje się, jako rzeczywisty obszar kopalni, na którym odbywa się wydobywanie węgla. Uwzględniono w nim możliwość wystąpienia trudności w eksploatacji z uwagi na rozległość obszaru, co może prowadzić do nadmiernego wydłużenia dróg dojazdowych do ścian

wydobywczych i sprawić, że transport węgla do szybów jest droższy i bardziej czasochłonny.

16. Kryterium okresu ważności **koncesji** wydobywczych, zdefiniowane jako czas, w którym kopalnie węgla posiadają koncesję na jego wydobywanie. Jest to ważne kryterium, zwłaszcza w obecnej sytuacji, gdy lokalna społeczność może mieć duży wpływ na przyznanie koncesji na prowadzenie lub zaprzestanie eksploatacji na danym obszarze (Jureczka i Galos, 2008).
17. Kryterium **wielkości wydobywania** zdefiniowane jako średnie wieloletnie wydobycie roczne danej kopalni/ruchu. Średnia roczna produkcja powinna być uwarunkowana czynnikami ekonomicznymi. Powinna się także opierać na racjonalnym wykorzystaniu złoża, adekwatnym do sytuacji na światowym rynku węgla (GIG, 2024; Szuflicki i in., 2024; WUG, 2024).
18. Kryterium **wielkości zasobów węgla** zdefiniowano jako zasoby, które mogą być wydobywane bez konieczności budowy nowych poziomów wydobywczych lub rozszerzenia obszaru eksploatacji. Można założyć, że tylko 30% zasobów zagospodarowanych złóż jest wykorzystywanych (Nieć i Salamon, 2016). Szacowanie wielkości zasobów zgodnie z wymaganiami standardu raportowania JORC, przeprowadzone przez (Saługa i in., 2015) wykazał, że wielkość potencjału zasobowego w wytypowanych kopalniach GZW wynosiła 621 mln ton, co stanowiło niecałe 22% zasobów operatywnych złóż będących w ich dyspozycji.
19. Kryterium **tektoniki złoża** zdefiniowane jako stopień skomplikowania budowy złoża, wynikający z występowania w nim dyslokacji ciągłych i nieciągłych, które wpływają na retencję i miąższość pokładów węgla kamiennego. Zaburzenia te wpływają negatywnie na działalność górnictw zarówno na etapie projektowania zagospodarowania złoża, jak i w trakcie jego eksploatacji (Drzewiecki i Frejowski, 2010; Frejowski i Myszkowski, 2012; Marcisz, 2017).

9.2. Wyniki analiz

W badaniu wzięło udział 25 ekspertów, w tym pięciu z Hiszpanii, trzech z Wietnamu, jeden z Wielkiej Brytanii i 16 z Polski. Przemysł wydobywczy był reprezentowany przez 10 ekspertów, przedstawiciele nauki byli reprezentowani przez 14 ekspertów, jeden ekspert był przedstawicielem Wyższego Urzędu Górniczego (WUG). Zakres doświadczenia ekspertów w działalności związanej z górnictwem węgla kamiennego

wynosił od 15 do 43 lat (tabela 9.1). Kompetencje ekspertów obliczone jako K_k mieściły się w przedziale 0,7–1,0.

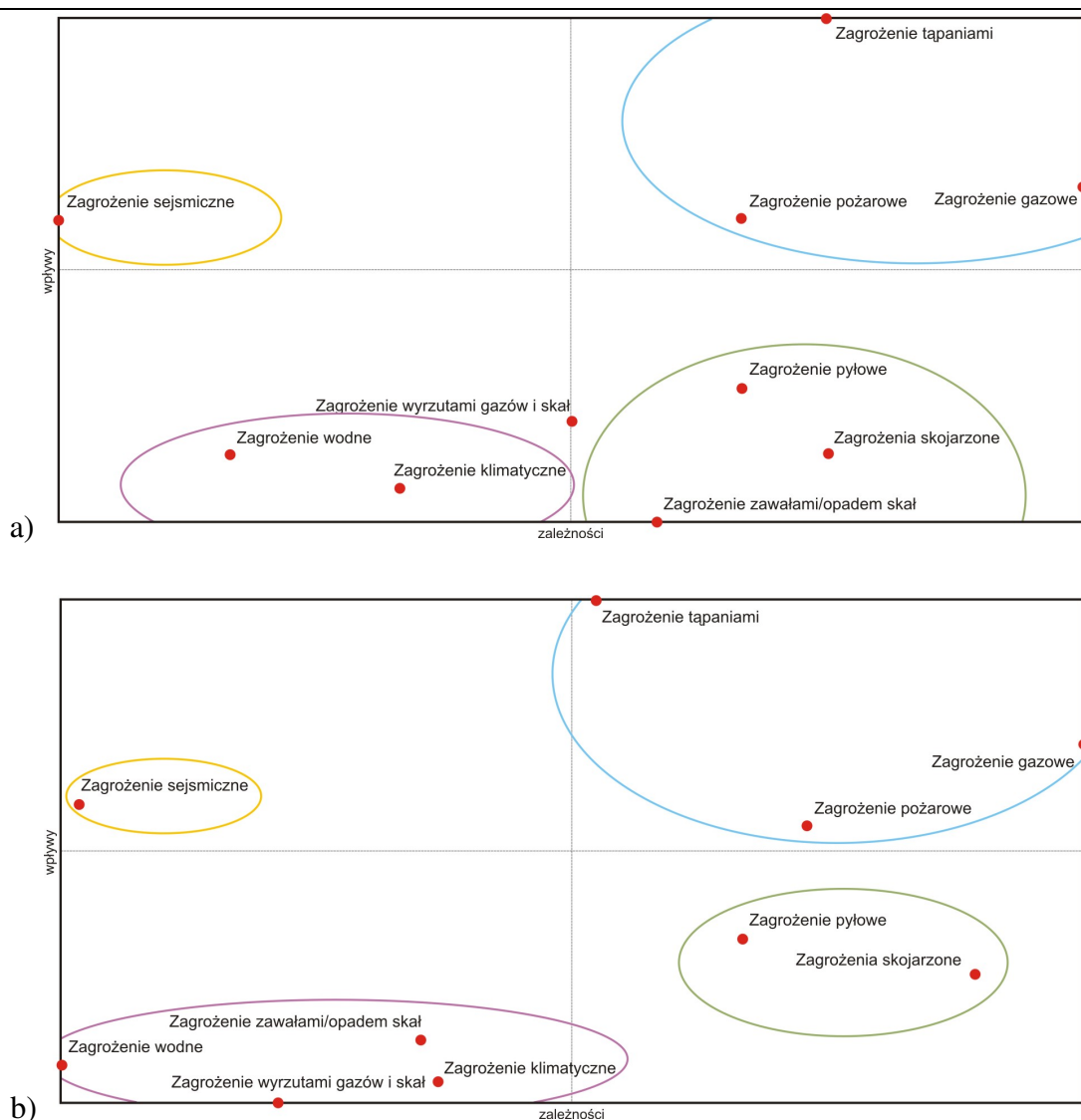
*Tabela 9.1. Dane dotyczące ekspertów biorących udział w badaniach metodą Delphi
(opracowanie własne)*

Lp.	Lata doświadczenia	Liczba ekspertów z instytucji naukowo-badawczych/WUG	Liczba ekspertów z przemysłu górniczego	Suma
1	10–20	4	2	6
2	21–30	4	7	11
3	31–40	5	1	6
4	>40	2	0	2
Suma:		15	10	25
Lp.	Wskaźnik kompetencji ekspertów K_k	Liczba ekspertów z instytucji naukowo-badawczych/WUG	Liczba ekspertów z przemysłu górniczego	Suma
1	0,5–0,6	0	0	0
2	0,7–0,8	4	8	12
3	0,9–1,0	11	2	13
Suma:		15	10	25

Ocena kompetencji ekspertów odegrała kluczową rolę w badaniu, ponieważ wpłynęła na wiarygodność i jakość uzyskanych wyników. Wartość tej oceny została wykorzystana do przypisania odpowiedniego znaczenia opiniom poszczególnych ekspertów w procesie dochodzenia do konsensusu. Eksperti z wyższą oceną kompetencji mieli większy wpływ na ostateczne wyniki, co pozwoliło na uwzględnienie ich specjalistycznej wiedzy i doświadczenia. W praktyce opinie bardziej wykwalifikowanych uczestników miały większą wagę podczas analizy i syntezy wyników badania Delphi. Dzięki temu końcowe ustalenia nie tylko odzwierciedlały konsensus grupy, ale również bazowały na perspektywie ekspertów o najwyższym poziomie kompetencji.

9.2.1. Określanie kryteriów kluczowych spośród kryteriów związanych ze skrzepowaniem eksploatacji

Dla powyższych kryteriów przeprowadzono analizę strukturalną, której celem było określenie kryteriów kluczowych dla wykonania prognozy potencjalnej żywotności kopalń. Wyniki oceny wpływów bezpośrednich (z oceny eksperckiej) zestawiono w aneksie nr 9. Na rysunku 9.1a przedstawiono wyniki analizy strukturalnej wykonanej metodą wpływów bezpośrednich, a na rys. 9.1b metodą wpływów pośrednich dla kryteriów związanych ze skrzepowaniem eksploatacji.



Rys. 9.1. Mapa zależności i wpływów kryteriów przyjętych dla określenia skrupowania eksploatacji: a) dla wpływów bezpośrednich, b) dla wpływów pośrednich (opracowanie własne)

Kryteria związane ze skrupowaniem eksploatacji znajdujące się w I ćwiartce (ćwiartka górna prawa) zakwalifikowano do kryteriów kluczowych (zaznaczonych niebieską elipsą). Są to kryteria: nr 1 „Zagrożenie gazowe”, nr 2 „Zagrożenie pożarowe”, nr 4 „Zagrożenie tapaniami”. Nie ma w tym przypadku różnicy między wynikami analizy strukturalnej wykonanej metodą bezpośrednią i pośrednią. Są to kryteria, na które należy zwrócić szczególną uwagę podczas prognozowania żywotności kopalń.

Znajdujące się w II ćwiartce (ćwiartka górna lewa) kryterium nr 3 „Zagrożenie sejsmiczne” można zakwalifikować do grupy kryteriów wyznaczników (zaznaczone

pomarańczową linią), określających niezmiennie/stałe cechy systemu. Nie ma w tym przypadku różnicy między wynikami analizy strukturalnej wykonanej metodą wpływów bezpośrednich i pośrednich.

W oparciu o wyniki analizy strukturalnej wykonanej metodą wpływów bezpośrednich, zawarte w III ćwiartce (ćwiartka dolna lewa) kryteria nr 6 „Zagrożenie klimatyczne” i nr 7 „Zagrożenie wodne” zakwalifikowano do kryteriów niezależnych (zaznaczone fioletową linią) o mało istotnym wpływie na system. Analiza strukturalna wykonana metodą wpływów pośrednich wykazała, że do tej grupy należy zakwalifikować również kryterium nr 8 „Zagrożenie wyrzutami gazów i skał” i nr 9 „Zagrożenie zawałami/opadami skał”.

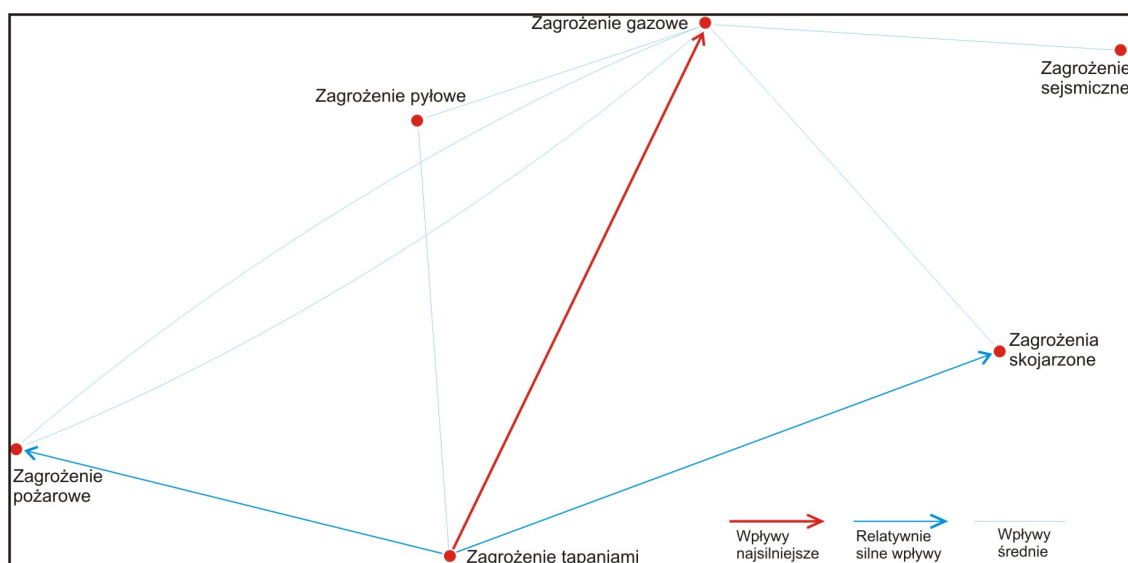
Na podstawie analizy strukturalnej wykonanej metodą wpływów pośrednich kryterium nr 5 „Zagrożenie pyłowe” i nr 10 „Zagrożenia skojarzone”, znajdujące się w IV ćwiartce (ćwiartka dolna prawa), zakwalifikowano do grupy kryteriów rezultatów (zaznaczone zieloną linią).

W tabeli 9.2 zestawiono wyniki analizy strukturalnej wykonanej metodą pośrednią dla kryteriów związanych ze skrzepowaniem eksploatacji.

Tabela 9.2. Macierz wpływów pośrednich kryteriów przyjętych dla określenia skrzepowania eksploatacji – na czerwono wpływy najsilniejsze, na niebiesko wpływy relatywnie silne (opracowanie własne)

Kryterium	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Kryterium zagrożenia gazowego	151	171	40	101	150	83	22	78	51	172
2. Kryterium zagrożenia pożarowego	167	104	24	65	115	93	18	85	43	149
3. Kryterium zagrożenia sejsmicznego	160	115	27	105	116	66	30	73	70	143
4. Kryterium zagrożenie tąpnięciami	236	181	44	101	164	105	38	110	93	223
5. Kryterium zagrożenia pyłowego	132	85	18	45	77	59	20	57	41	111
6. Kryterium zagrożenia klimatycznego	75	77	10	37	43	26	10	19	13	63
7. Kryterium zagrożenia wodnego	69	53	12	49	52	28	13	32	31	65
8. Kryterium zagrożenia wyrzutami gazów i skał	86	52	12	47	60	43	13	40	27	72
9. Kryterium zagrożenia zawałowego	53	46	9	53	49	28	8	25	14	49
10. Kryterium zagrożeń skojarzonych	119	78	11	73	69	49	18	43	30	89

W macierzy wpływów pośrednich (tabela 9.2) na czerwono zaznaczono najsilniejsze wpływy pośrednie, natomiast na niebiesko relatywnie silne wpływy pośrednie, wyniki w formie graficznej przedstawiono na rysunku 9.2.



Rys. 9.2. Wykres wpływów pośrednich kryteriów przyjętych dla skrzepowania eksploatacji (opracowanie własne)

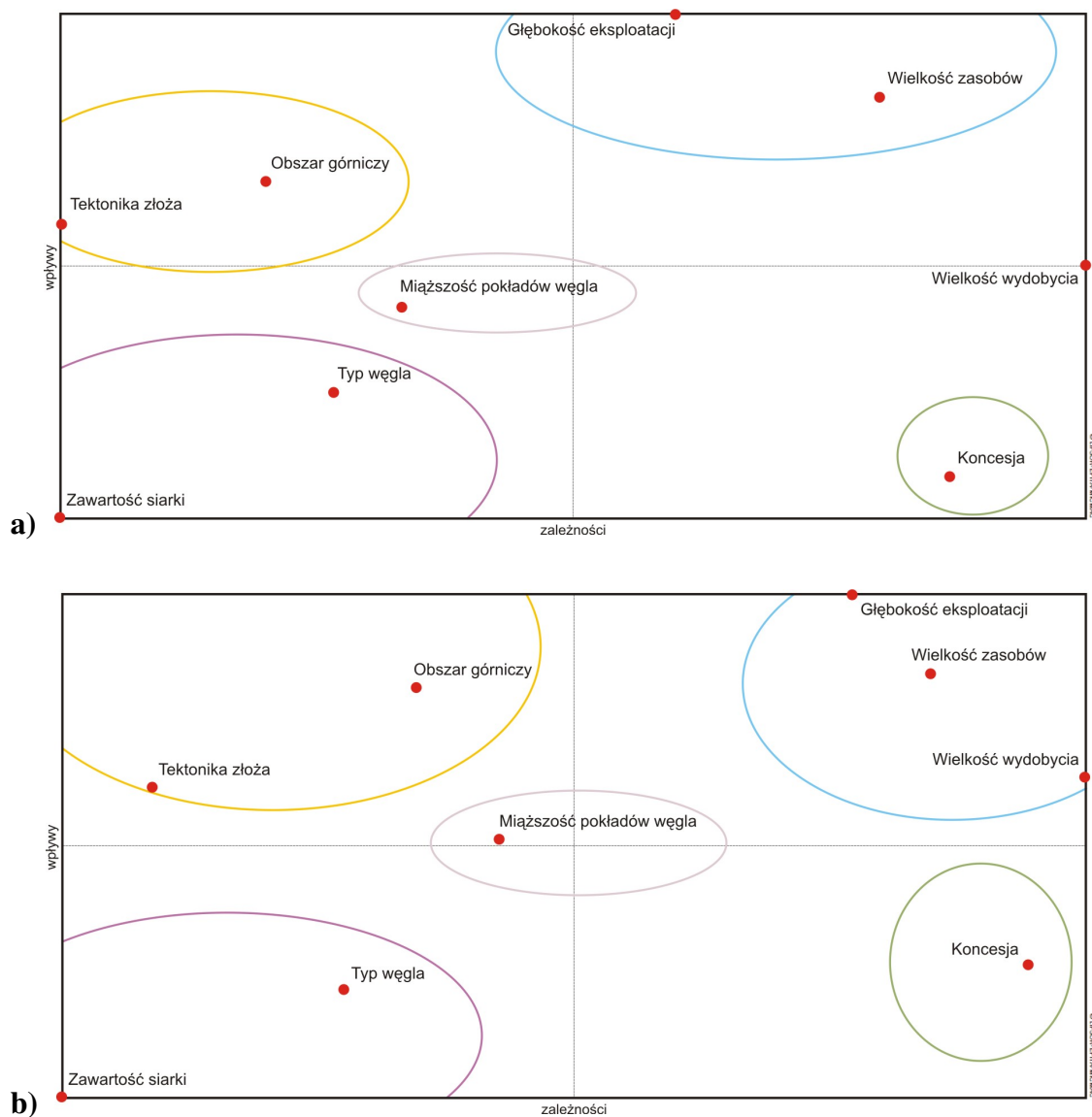
Analiza wykazała, że najmocniejsze połączenia wpływów pośrednich między kryteriami przyjętymi dla skrzepowania eksploatacji zachodzą dla par:

- Najmocniejsze wpływy pośrednie dla pary: kryterium nr 4 „Zagrożenie łąpaniami” z kryterium nr 1 „Zagrożenie gazowe” (zaznaczone na czerwono w tabeli 9.2 i czerwoną linią na rysunku 9.2)
- Relatywnie mocne wpływy pośrednie między parami: kryterium nr 4 „Zagrożenie łąpaniami” z kryterium nr 10 „Zagrożenia skojarzone” oraz kryterium nr 4 „Zagrożenie łąpaniami” z kryterium nr 2 „Zagrożenie pożarowe” (zaznaczone na niebiesko w tabeli 9.2 i grubą niebieską linią na rysunku 9.3).

Wykazano, że najsilniejsze wpływy pośrednie zachodzą między dwoma kryteriami kluczowymi: kryterium nr 4 „Zagrożenie łąpaniami” i kryterium nr 1 „Zagrożenie gazowe”. Współwystępowanie tych zagrożeń będzie wskazywać na możliwość znacznego ich wpływu na skrzepowanie eksploatacji, a to będzie miało istotny wpływ na prognozowaną żywotność kopalni.

9.2.2. Określanie kryteriów kluczowych spośród kryteriów określających jakość zasobów i poziom skomplikowania dostępu do nich

Wyniki oceny wpływów bezpośrednich (z oceny eksperckiej) zestawiono w aneksie nr 9. Na rysunku 9.3 przedstawiono wyniki analizy strukturalnej wykonanej metodą wpływów bezpośrednich (rys. 9.3a) i pośrednich (rys. 9.3b) dla kryteriów określających jakość zasobów i poziom skomplikowania dostępu do nich.



Rys. 9.3. Mapa zależności i wpływów kryteriów przyjętych dla określenia jakości zasobów oraz poziomu skomplikowania dostępu do nich: a) dla wpływów bezpośrednich, b) dla wpływów pośrednich (opracowanie własne)

Na podstawie wyników analizy strukturalnej wykonanej metodą wpływów pośrednich kryteria znajdujące się w I ćwiartce (ćwiartka górna prawa – zaznaczone niebieską linią) zakwalifikowano do kryteriów kluczowych. Są to kryteria nr 11 „Głębokość eksploatacji”, nr 17 „Wielkość wydobycia”, nr 18 „Wielkość zasobów”. Należy je wziąć pod uwagę prognozując żywotność kopalń w aspekcie jakości zasobów i poziomu skomplikowania dostępu do nich.

Kryterium nr 17 „Wielkość wydobycia” znajduje się na granicy między ćwiartką I (kryteria kluczowe), a ćwiartką IV (kryteria rezultaty). Nie ma w tym przypadku różnicy między wynikami analizy strukturalnej wykonanej metodą wpływów bezpośrednich i pośrednich.

Znajdujące się w II ćwiartce (ćwiartka górna lewa – zaznaczone pomarańczową linią) kryterium, nr 15 „Obszar górniczy” i nr 19 „Tektonika złoża” można zakwalifikować do grupy kryteriów wyznaczników, określających niezmiennie/stałe cechy systemu. Nie ma w tym przypadku różnicy między wynikami analizy strukturalnej wykonanej metodą wpływów bezpośrednich i pośrednich.

Zawarte w III ćwiartce (ćwiartka dolna lewa – zaznaczone fioletową linią) kryterium nr 13 „Typ węgla” i nr 14 „Zawartość siarki”, zakwalifikowano do kryteriów niezależnych o mało istotnym wpływie na system. Nie ma w tym przypadku różnicy między wynikami analizy strukturalnej wykonanej metodą wpływów bezpośrednich i pośrednich.

Kryterium nr 12 „Miąższość pokładów węgla” zostało zakwalifikowane do grupy kryteriów regulujących (środek układu – zaznaczone szarą elipsą). Nie ma w tym przypadku różnicy między wynikami analizy strukturalnej wykonanej metodą wpływów bezpośrednich i pośrednich.

Ostatnie z rozpatrywanych kryteriów – nr 16 „Koncesja” znajdujące się w IV ćwiartce (ćwiartka dolna prawa – zaznaczone zieloną elipsą), zakwalifikowano do grupy kryteriów rezultatów. Nie ma w tym przypadku różnicy między wynikami analizy strukturalnej wykonanej metodą wpływów bezpośrednich oraz wpływów pośrednich.

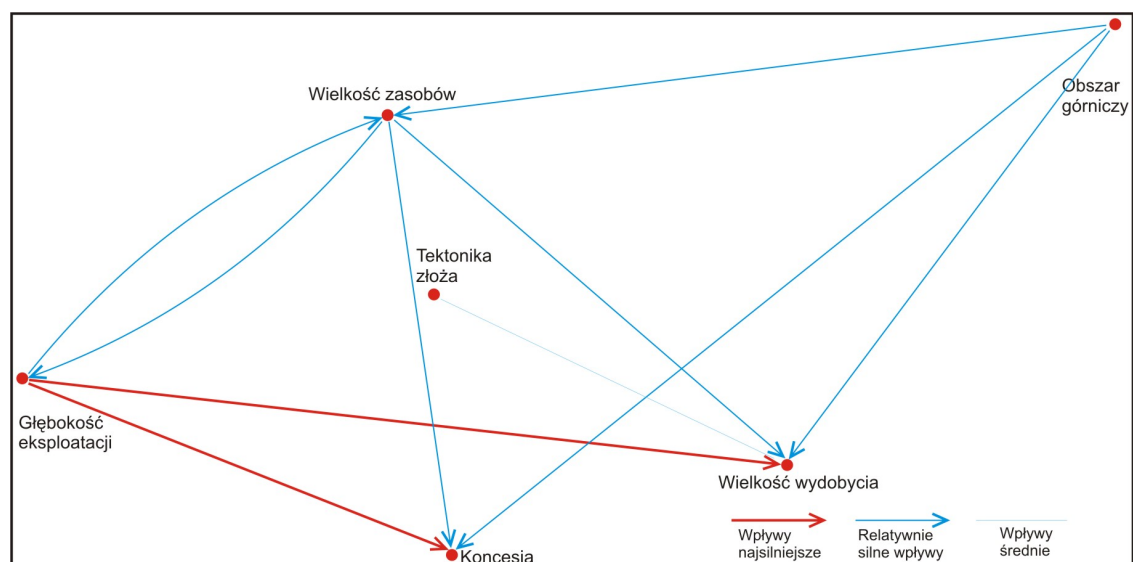
W tabeli 9.3 zestawiono wyniki analizy strukturalnej wykonanej metodą wpływów pośrednich. Analiza wykazała, że najmocniejsze wpływy pośrednie zachodzą między

kryterium nr 11 „Głębokość eksploatacji” a kryterium nr 17 „Wielkość wydobycia” oraz między kryterium nr 11 „Głębokość eksploatacji” a kryterium nr 16 „Koncesja”.

Tabela 9.3. Macierz wpływów pośrednich kryteriów przyjętych dla określenia jakości zasobów oraz poziomu skomplikowania dostępu do nich – na czerwono wpływy najsilniejsze, na niebiesko wpływy relatywnie silne (opracowanie własne) (opracowanie własne)

Kryteria	11	12	13	14	15	16	17	18	19
11. Kryterium głębokości eksploatacji	350	246	202	103	230	428	437	404	146
12. Kryterium miąższości pokładów węgla	218	161	125	73	144	297	304	281	104
13. Kryterium typu węgla	160	126	94	58	109	203	212	167	64
14. Kryterium zawartości siarki	113	71	61	28	66	139	142	147	50
15. Kryterium wielkości obszaru górniczego	318	214	169	93	194	376	391	354	121
16. Kryterium okresu ważności koncesji	202	129	91	58	96	216	245	184	55
17. Kryterium wielkości wydobycia	269	174	147	74	167	323	337	320	110
18. Kryterium wielkości zasobów węgla	360	243	196	92	217	365	375	322	106
19. Kryterium tektoniki złoża	300	195	152	78	165	307	330	271	86

W macierzy wpływów pośrednich (tabela 9.3) na czerwono zaznaczono najsilniejsze wpływy pośrednie, natomiast na niebiesko relatywnie silne wpływy pośrednie, wyniki w formie graficznej przedstawiono na rysunku 9.4.



Rys. 9.4. Wykres wpływów pośrednich kryteriów przyjętych dla określenia jakości zasobów oraz poziomu skomplikowania dostępu do nich (opracowanie własne)

Wykazano, że najsilniejsze wpływy pośrednie zachodzą pomiędzy dwoma kryteriami kluczowymi, a mianowicie kryterium nr 11 „Głębokość eksploatacji” i kryterium nr 17 „Wielkość wydobycia”. Wykazana w analizach zależność wielkości wydobycia od głębokości eksploatacji jest związkiem, który należy uwzględnić w prognozie żywotności kopalń. Drugim wpływem, który należy uwzględnić jest zależność kryterium kluczowego nr 11 „Głębokość eksploatacji” od kryterium kluczowego nr 17 „Koncesja”.

Powyższe analizy strukturalne, wykonane dla dwóch grup kryteriów, pozwoliły na określenie kryteriów, które zostaną uwzględnione w prognozie żywotności kopalń węgla kamiennego.

W tabeli 9.4 zestawiono uzyskane w tym etapie wyniki, a kryteria kluczowe najistotniejsze z punktu widzenia kolejnych zostały oznaczone niebieskim tłem.

Tabela 9.4. Zbiornicze zestawienie wyników analizy strukturalnej – kryteria (opracowanie własne)

Kryterium	Kryteria związane ze skrzepowaniem eksploatacji	Kryteria określające jakość zasobów i poziom skomplikowania dostępu do nich
Kryteria kluczowe	nr 1 „Zagrożenie gazowe”	nr 11 „Głębokość eksploatacji”
	nr 2 „Zagrożenie pożarowe”	nr 17 „Wielkość wydobycia”
	nr 4 „Zagrożenie tąpnięciami”	nr 18 „Wielkość zasobów”
Kryteria wyznaczniki	nr 3 „Zagrożenie sejsmiczne”	nr 15 „Obszar górniczy”
		nr 19 „Tektonika złożeń”
Kryteria rezultaty	nr 5 „Zagrożenie pyłowe”	nr 16 „Koncesja”
	nr 10 „Zagrożenia skojarzone”	
Kryteria niezależne	nr 6 „Zagrożenie klimatyczne”	nr 13 „Typ węgla”
	nr 7 „Zagrożenie wodne”	nr 14 „Zawartość siarki”
	nr 8 „Zagrożenie wyrzutami gazów i skał”	
	nr 9 „Zagrożenie zawałami/opadami skał”	
Kryteria regulujące		nr 12 „Miąższość pokładów węgla”

Uzyskane wyniki w postaci kryteriów kluczowych przyjętych dla skrzepowania eksploatacji (zagrożenie gazowe, pożarowe, tąpnięciami) oraz określających jakość

zasobów i poziom skomplikowania dostępu do nich (głębokość eksploatacji, wielkość zasobów, wielkość wydobywania) pozwalają w prognozie żywotności kopalń na odniesienie się nie tylko do dostępnych zasobów, ale także do bezpieczeństwa ich wydobywania. Najsilniejsze, określone w ramach badań, wpływy między tymi kryteriami, to związek między zagrożeniem tąpniętami a zagrożeniem gazowym oraz relacja wielkości wydobywania i głębokości prowadzonej eksploatacji.

W kolejnym etapie badań została przeprowadzona analiza oparta na kryteriach oraz relacjach pomiędzy nimi uzyskanych w tym etapie badań.

9.3. Określanie potencjalnej żywotności kopalń węgla kamiennego

Prognozowanie żywotności kopalń przeprowadzono dla wytypowanych kopalń węgla kamiennego zlokalizowanych na obszarze GZW. Kopalnie wybrano, biorąc pod uwagę następujące czynniki:

- W kopalni/ruchu wydobywczym eksploatuje się węgiel typu energetycznego. Nie uwzględniono w badaniach kopalń, w których eksploatuje się pokłady węgla koksowego, który jest traktowany jako surowiec strategiczny (Paulo i Krzak, 2022), a jego największym producentem w Europie jest JSW SA (Matyjaszek i in., 2019; Strojny, Witkowski i Wąs, 2023).
- Nie uwzględniono w badaniach kopalni prywatnych: PG Silesia, ZG Siltech, ZG EKO-PLUS.
- W kopalniach wieloruchowych rozpatrywano osobno każdy z ruchów wydobywczych.

Lokalizacja kopalń uwzględnionych w analizach została przedstawiona na rysunku 3.3.

Dla kryteriów kluczowych przyjętych dla skrepowania eksploatacji analizie poddano zdarzenia niebezpieczne w polskim górnictwie węglowym związane z każdym zagrożeniem naturalnym reprezentującym takie kryterium (WUG, 2024). Badania przeprowadzono dla zdarzeń, które zaistniały od początku 2008 roku do końca 2024 roku.

Wyniki analizy dla kryteriów kluczowych przyjętych dla skrupowania eksploatacji przedstawiono w tabeli 9.5.

*Tabela 9.5. Niebezpieczne zdarzenia związane z kryteriami kluczowymi przyjętymi dla
skrupowania eksploatacji w analizowanych kopalniach w latach 2008–2024
(opracowanie własne)*

Lp.	Przedsiębiorstwo/nazwa kopalni/ruch wydobywczy	Zagrożenie metanowe	Zagrożenie pożarowe (endogeniczne)	Zagrożenie tapaniami (tąpnięcia)	Zagrożenie tapaniami (odprężenia)	Suma zdarzeń
1	PGG SA KWK ROW Ruch Jankowice	0	2	0	0	2
2	PGG SA KWK ROW Ruch Chwałowice	1	1	0	0	2
3	PGG SA KWK ROW Ruch Marcel	0	1	3	1	5
4	PGG SA KWK ROW Ruch Rydułtowy	2	3	5	2	12
5	PGG SA KWK Ruda Ruch Bielszowice	2	9	7	5	23
6	PGG SA KWK Ruda Ruch Halemba	2	4	1	1	8
7	PGG SA KWK Piast-Ziemowit Ruch Piast	0	2	0	2	4
8	PGG SA KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit	0	1	0	0	1
9	PGG SA KWK Bolesław Śmiały	0	0	0	0	0
10	PGG SA KWK Sośnica	4	2	0	0	6
11	PGG SA KWK Staszic-Wujek	8	16	4	10	38
12	PGG SA KWK Mysłowice-Wesoła	4	7	4	11	26
13	Południowy Koncern Wydobywczy SA ZG Brzeszcze	2	1	0	0	3
14	Południowy Koncern Wydobywczy SA ZG Janina	0	3	0	0	3
15	Południowy Koncern Wydobywczy SA ZG Sobieski	0	6	0	0	6
16	Węglokoks Kraj SA KWK Bobrek	0	1	1	0	2
Suma		25	59	25	32	141

Przedstawione w tabeli 9.5, niebezpieczne zdarzenia związane z występowaniem zagrożeń naturalnych w kopalniach węgla kamiennego, czyli:

- ilość zdarzeń związanych z zapaleniem i/lub wybuchem metanu w okresie 2008–2024 w danej kopalni/ruchu wydobywczym (kryterium kluczowe – zagrożenie gazowe/metanowe),
- ilość zdarzeń z zaistnieniem endogenicznych pożarów podziemnych w okresie 2008–2024 w danej kopalni/ruchu wydobywczym (kryterium kluczowe – zagrożenie pożarowe),
- ilość zdarzeń zakwalifikowanych jako tąpnięcia górotworu w okresie w okresie 2008–2024 w danej kopalni/ruchu wydobywczym (kryterium kluczowe – zagrożenie tąpnięciami),
- ilość zdarzeń zakwalifikowanych jako odprężenie górotworu, które skutkowały wypadkami zbiorowymi, w okresie w okresie 2008–2024 w danej kopalni/ruchu wydobywczym (kryterium kluczowe – zagrożenie tąpnięciami),

zostały również przedstawione na rysunku 9.5.

W tabeli 9.6 zestawiono podstawowe dane statystyczne dotyczące niebezpiecznych zdarzeń przedstawionych w tabeli 6.5.

Tabela 9.6. Wyniki analizy statystycznej zdarzeń związanych z występowaniem zagrożeń naturalnych (opracowanie własne)

Rodzaj zagrożenia	Minimum	Pierwszy kwartył (Q1)	Mediana (Q2)	Trzeci kwartył (Q3)	Maksimum	Średnia
Zagrożenie metanowe	0	0	0,5	2,0	8,0	1,6
Zagrożenie pożarowe (endogeniczne)	0	1,0	2,0	4,5	16,0	3,7
Zagrożenie tąpnięciami (tąpnięcia)	0	0	0	3,25	7,0	1,6
Zagrożenie tąpnięciami (odprężenia)	0	0	0	2	11	2,0

Najwyższe zagrożenie gazowe występuje w kopalni PGG SA KWK Staszic-Wujek, gdzie odnotowano osiem zdarzeń. Jest to wartość znacznie wyższa od średniej (1,6) i należy do górnej granicy analizowanych danych. Jest to także kopalnia o największym

zagrożeniu pożarowym (15 zdarzeń) - wysoka wartość w porównaniu do średniej (3,6). Największe zagrożenie tąpniętami odnotowano w kopalni PGG SA KWK Mysłowice-Wesoła (15 zdarzeń), PGG SA KWK Staszic-Wujek (14 zdarzeń) oraz w PGG SA KWK Ruda Ruch Bielszowice (12 zdarzeń). Te kopalnia znacząco przekracza średnią i powinny być szczególnie monitorowane.

Sumarycznie największą liczbę niebezpiecznych zdarzeń związanych z rozpatrywanymi zagrożeniami naturalnymi odnotowano w KWK Staszic-Wujek (37 zdarzeń). Niebezpieczne zdarzenia występowały również podczas eksploatacji prowadzonej w KWK Mysłowice-Wesoła (26 zdarzeń) i KWK Ruda Ruch Bielszowice (23 zdarzenia). Brak tego typu zdarzeń odnotowano tylko w KWK Bolesław Śmiały, natomiast jedno zdarzenie miało miejsce w KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit.

Analiza zagrożeń, które wystąpiły w kopalniach w latach 2008–2024 wskazuje na wyraźny trend spadku liczby zdarzeń, szczególnie po 2016 roku (zestawienie danych w aneksie nr 10). Spadek ten można powiązać ze zmniejszeniem wydobycia węgla oraz z efektami pandemii COVID-19 w latach 2020–2021, która wpłynęła na ograniczenie intensywności prac, co również przełożyło się na niższą liczbę niebezpiecznych zdarzeń. W czasie pandemii wdrożono bardziej rygorystyczne procedury bezpieczeństwa, a zmniejszona obecność pracowników pod ziemią mogła ograniczyć ryzyko wystąpienia takich zdarzeń.

Wyniki analiz dla kryteriów kluczowych przyjętych dla jakości zasobów i poziomu skomplikowania dostępu do nich przedstawiono w tabeli 9.7.

Tabela 9.7. Informacje związane kryteriami kluczowymi przyjętych dla jakości zasobów i poziomu skomplikowania dostępu do nich (opracowanie własne)

Lp.	Przedsiębiorstwo nazwa kopalni/ruch wydobywczy	Głębokość eksploatacji	Średnia wielkość wydobycia, mln/rok	Wielkość zasobów bilansowych A + B, mln ton	Wielkość zasobów przemysłowych, mln ton
1	PGG SA KWK ROW Ruch Jankowice	700	2 165	119 014	180 997
2	PGG SA KWK ROW Ruch Chwałowice	550/700	1 800	100 578	89 898
3	PGG SA KWK ROW Ruch Marcel	800	2 040	144 339	77 624

*Metoda oceny możliwości wykorzystania infrastruktury oraz zasobów kopalń węgla kamiennego
po zakończeniu eksploatacji*

Lp.	Przedsiębiorstwo nazwa kopalni/ruch wydobywczy	Głębokość eksploatacji	Średnia wielkość wydobycia, mln/rok	Wielkość zasobów bilansowych A + B, mln ton	Wielkość zasobów przemysłowych, mln ton
4	PGG SA KWK ROW Ruch Rydułtowy	1150	1 530	90 084	49 204
5	PGG SA KWK Ruda Ruch Bielszowice	1000	1 396	306 864	161 029
6	PGG SA KWK Ruda Ruch Halemba	1030	1 330	241 247	86 178
7	PGG SA KWK Piast-Ziemowit Ruch Piast	650	1 961	327 062	71 374
8	PGG SA KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit	650	2 968	133 941	250 656
9	PGG SA KWK Bolesław Śmiały	530	1 192	15 991	63 272
10	PGG SA KWK Sośnica	950	1 160	155 472	114 177
11	PGG SA KWK Staszic-Wujek	900	2 362	234 057	138 559
12	PGG SA KWK Mysłowice-Wesoła	865	1 850	246 524	288 929
13	Południowy Koncern Wydobywczy SA ZG Brzeszcze	640/900	859	102 213	82 329
14	Południowy Koncern Wydobywczy SA ZG Janina	800	1 917	200 435	325 672
15	Południowy Koncern Wydobywczy SA ZG Sobieski	500	1 765	224 807	236 217
16	Węglkokoks Kraj SA KWK Bobrek	840	1 102	59 951	7 804

Jako głębokość eksploatacji przyjęto najgłębszy czynny poziom wydobywczy w danej kopalni/ruchu wydobywczym (GIG, 2024). Należy jednak pamiętać, że większość kopalni prowadzi eksploatację podziemną (Zorychta i Burtan, 2008).

Wielkość wydobycia przyjęto jako średnie roczne wydobycie węgla na kopalni/ruchu wydobywczego od roku 2017 do roku 2023 (Szuflicki, Malon, i Tymiński 2024).

Wielkość zasobów, dla potrzeb prognozy żywotności kopalń, zdefiniowano jako wielkość zasobów bilansowych rozpoznanych w najwyższych kategoriach A oraz B (Szuflicki i in., 2024). Kategoria rozpoznania złoża A oznacza rozpoznane wyrobiskami górnictwymi złoża, natomiast kategoria B rozpoznane otworami wiertniczymi i wyrobiskami górnictwymi (Saługa i in., 2015). Do analiz zatem te części ogólnych zasobów bilansowych, które są rozpoznane w wysokim stopniu i których eksploatacja nie wymaga ponoszenia dodatkowych, wysokich kosztów udostępnienia złoża (na przykład pogłębianie szybu i budowa nowych poziomów wydobywczych).

W oparciu o dane literaturowe założono, że jako produkt końcowy uzyska się 30% ilości tych zasobów (Nieć i Salamon 2016; Nieć i Młynarczyk 2014).

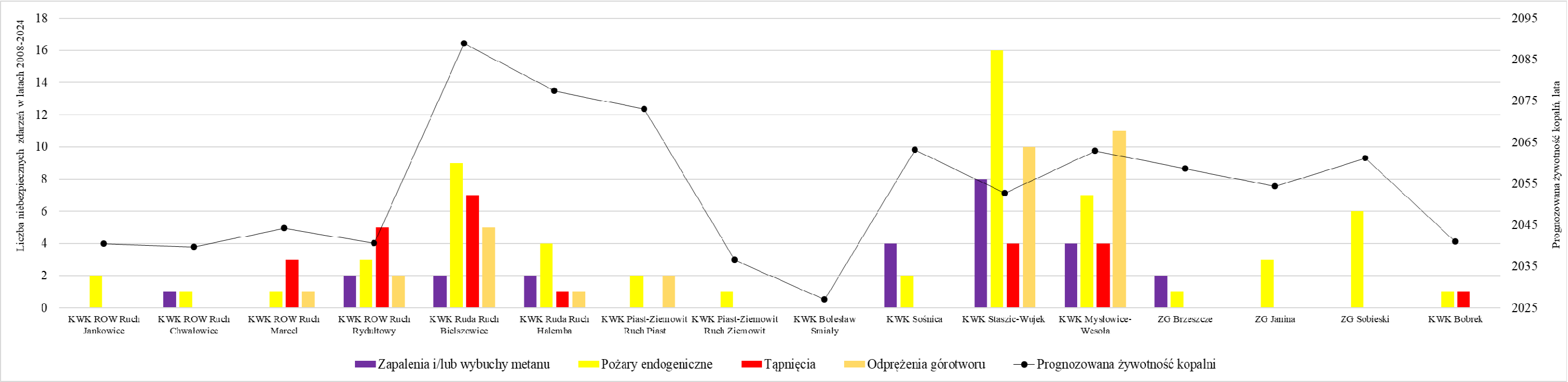
Dla porównania przedstawiono również prognozę wykonaną w oparciu o zasoby przemysłowe (Szuflicki i in., 2024). Przy ocenie zasobów przemysłowych można przyjąć, że około 60% z nich to zasoby operatywne, natomiast około 40% straty (Chroszcz, 2005). Należy jednak zauważyć, że część zasobów operatywnych (20–30%) nie zostanie poddana eksploatacji (Sobczyk, 2008), co powoduje że prognozowana dla zasobów przemysłowych żywotność kopalń, będzie krótsza.

W tabeli 9.8 przedstawiono podział niebezpiecznych zdarzeń związanych z zagrożeniem metanowym, pożarowym i tąpnięciami na 3 poziomy: niski (poniżej wartości 33% percentyla), średni (poniżej wartości 66% percentyla) i wysoki (od wartości 66% percentyla). W przypadku, gdy wystąpiły zdarzenia niebezpieczne, które związane były z wypadkami śmiertelnymi przyjęto poziom wysoki. Dla głębokości eksploatacji przyjęto jej dwa poziomy: średnia (do głębokości 900 m) oraz duża (powyżej 900 m).

Tabela 9.8. Określanie poziomu zagrożenia eksploatacji ze względu występowanie niebezpiecznych zdarzeń związanych z zagrożeniami naturalnymi (opracowanie własne)

Parametr	Dolna granica	33% percentyl (poziom niski)	66% percentyl (poziom średni)	Górna granica (poziom wysoki)
Zagrożenie gazowe	0	0	2	8
Zagrożenie pożarowe	0	1	3	16
Zagrożenie tąpnięciami (tąpnięcia i odprężenia)	0	0	2	15

Wyniki zbiorcze dotyczące przeprowadzonej prognozy żywotności kopalń przedstawiono na rysunku 9.5 oraz w tabeli 9.9.



Rys. 9.5. Niebezpieczne zdarzenia związane z zagrożeniem gazowym, pożarowym i tąpnięcia w analizowanych kopalniach, na tle ich prognozowanej żywotności (opracowanie własne)

**Tabela 9.9. Stan zagrożeń i ocena prognozy żywotności analizowanych kopalń
(opracowane własne)**

Lp.	Kopalnia	Głębokość	Zagrożenie gazowe	Zagrożenie pożarowe	Zagrożenie tapaniami	Żywotność, zasoby A + B	Żywotność, zasoby przemysłowe
1	PGG SA KWK Bolesław Śmiały	Średnia	Niski	Niski	Niski	2027	2051
2	PGG SA KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit	Średnia	Niski	Niski	Niski	2037	2066
3	PGG SA KWK ROW Ruch Jankowice	Średnia	Niski	Niski	Niski	2040	2057
4	PGG SA KWK ROW Ruch Chwałowice	Średnia	Niski	Niski	Niski	2040	2049
5	PGG SA KWK ROW Ruch Rydułtowy	Duża	Wysoki	Wysoki	Wysoki	2041	2040
6	Węglokoks Kraj SA KWK Bobrek	Średnia	Niski	Niski	Wysoki	2041	2028
7	PGG SA KWK ROW Ruch Marcel	Średnia	Niski	Niski	Wysoki	2044	2043
8	PGG SA KWK Staszic-Wujek	Duża	Wysoki	Wysoki	Wysoki	2053	2053
9	Południowy Koncern Wydobywczy SA ZG Janina	Średnia	Niski	Wysoki	Niski	2054	2109
10	Południowy Koncern Wydobywczy SA ZG Brzeszcze	Średnia	Wysoki	Niski	Niski	2059	2072
11	Południowy Koncern Wydobywczy SA ZG Sobieski	Średnia	Niski	Wysoki	Niski	2061	2091
12	PGG SA KWK Sośnica	Duża	Wysoki	Średni	Niski	2063	2073
13	PGG SA KWK Mysłowice-Wesoła	Średnia	Wysoki	Wysoki	Wysoki	2063	2102
14	PGG SA KWK Piast-Ziemowit Ruch Piast	Średnia	Niski	Średni	Średni	2073	2042
15	PGG SA KWK Ruda Ruch Halemba	Duża	Wysoki	Wysoki	Średni	2077	2056
16	PGG SA KWK Ruda Ruch Bielszowice	Duża	Wysoki	Wysoki	Wysoki	2089	2082

Prognozowana średnia żywotność badanych kopalń wynosi 30 lat, przy uwzględnieniu zasobów kategorii A i B oraz 39 lata, przy uwzględnieniu zasobów przemysłowych. Można stwierdzić, że większość kopalni (z wyjątkiem KWK Piast-Ziemowit Ruch Piast) o najdłuższej prognozowanej żywotności, charakteryzuje się występowaniem niebezpiecznych zdarzeń związanych z zagrożeniami naturalnymi. W kopalniach

o krótkiej prognozowanej żywotności (oprócz KWK ROW Ruch Rydułtowy) zdarzenia niebezpieczne związane z zagrożeniami naturalnymi w badanym okresie występowały sporadycznie. Największe różnice bezwzględne między prognozami żywotności określonymi dla zasobów bilansowych kategorii A i B oraz dla zasobów przemysłowych odnotowano dla ZG Janina (55 lat), KWK Mysłowice-Wesoła (39 lat), KWK Bobrek (31 lat), KWK Piast-Ziemowit Ruch Piast (30 lat) oraz ZG Sobieski (30 lat).

Prognozę żywotności przeprowadzono w oparciu o dane dotyczące zasobów węgla kamiennego i warunków eksploatacji. Z tabeli 9.9 wynika, że długoletnia, prognozowana żywotność odnosi się głównie do kopalń, w których poziom zagrożeń naturalnych determinuje warunki prowadzenia robót górniczych. Należy podkreślić, że warunki te będą ulegały jedynie pogorszeniu z uwagi na konieczność eksploatacji coraz głębiej zalegających pokładów, a także reszkowych części złóż (Wodarski, 2014; Wodarski, Bijańska i Gumiński, 2017).

Na podstawie wyników uzyskanych z poprzedniego etapu prac szczególną uwagę należy zwrócić na wzajemne oddziaływanie zagrożenia tąpnięciami i zagrożenia metanowego w analizowanych kopalniach oraz na zależności pomiędzy głębokością prowadzonego wydobywania węgla, a jego wielkością. Będzie to wiązało z koniecznością ponoszenia dodatkowych kosztów (na profilaktykę, roboty udostępniające czy przygotowawcze) – co będzie wiązać się z trudnościami finansowania takich przedsięwzięć.

Powyższe rozważania pomijają wpływ wahań w globalnej polityce i gospodarce, które mogą dodatkowo skrócić prognozowaną żywotność kopalń. W konsekwencji perspektywa ich zamknięcia może okazać się bliższa, niż wynika to z powyższych analiz. Warto więc rozważyć możliwości wykorzystania infrastruktury i zasobów podziemnych zamykanych kopalń węgla, aby efektywnie spożytkować ich potencjał oraz zasoby ludzkie, które dotychczas kształtowały znaczenie górnictwa węglowego w gospodarce kraju.

10. Podsumowanie badań

W rozprawie doktorskiej opracowano metodę oceny możliwości wykorzystania infrastruktury oraz zasobów kopalni węgla kamiennego przeznaczonych do likwidacji po zakończeniu eksploatacji. Podstawą opracowania tej metody była analiza doświadczeń państw Europy Zachodniej w procesie odchodzenia od eksploatacji węgla kamiennego, zestawiona z restrukturyzacją tego sektora w Polsce na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat. Szczególną uwagę poświęcono nie tylko metodom likwidacji przemysłu wydobywczego, lecz także, w rzadkich przypadkach, możliwościom wykorzystania potencjału zamykanych kopalń.

W kontekście dotychczasowej restrukturyzacji górnictwa węgla kamiennego przedstawiono przeprowadzone działania, a także wykonano prognozę żywotności polskich kopalń węgla kamiennego przeznaczonego do celów energetycznych. Prognoza ta uwzględnia nie tylko wielkość dostępnych/potencjalnych zasobów, ale również ograniczenia wynikające z występowania głównych zagrożeń naturalnych i ich skutków, które mają wpływ na możliwość prowadzenia dalszej eksploatacji.

Metoda opiera się na analizie kryterialnej lokalnych, często specyficznych warunków, charakteryzujących każdy zakład górniczy. W pierwszym kroku umożliwia ona identyfikację kluczowych kryteriów niezbędnych do określenia możliwych scenariuszy zagospodarowania zasobów i infrastruktury zamykanej kopalni. W kolejnym etapie, przy uwzględnieniu szerszych horyzontów funkcjonowania gospodarki UE, przeprowadza się analizę i hierarchizację wybranych scenariuszy, określonych jako akcje i mikroakcje. Finalnym etapem procesu jest przedstawienie optymalnego modelu biznesowego.

Każdy kolejny krok w metodzie wprowadza coraz szerszy kontekst analizy, począwszy od lokalnych uwarunkowań zakładu górniczego, aż po ich integrację z zasadami i celami funkcjonowania gospodarki UE. Wynikiem tego procesu jest kompleksowy model biznesowy, który, mimo swojej złożoności, pozostaje silnie zakorzeniony w specyfice zamykanej kopalni oraz jej najbliższego otoczenia, oferując rozwiązania dostosowane zarówno do lokalnych potrzeb, jak i do międzynarodowych regulacji.

Wyniki poszczególnych etapów pracy doktorskiej opracowano z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania dedykowanego analizom przeprowadzanym w ramach niniejszych badań. Podstawą otrzymania tych wyników były badania eksperckie, w których uczestniczyło interdyscyplinarne grono ekspertów krajowych i zagranicznych, reprezentujących jednostki badawczo-naukowe, kopalnie węgla kamiennego, instytucje nadzoru górniczego oraz inne przedsiębiorstwa związane z przemysłem wydobywczym.

Uwzględnione w analizach scenariusze wykorzystania zasobów i infrastruktury zamykanych podziemnych kopalń węgla kamiennego zostały opracowane na podstawie doświadczeń związanych z likwidacją górnictwa węglowego w krajach zachodniej Europy. Scenariusze te uwzględniają politykę klimatyczną prowadzoną przez Unię Europejską oraz europejskie i światowe trendy w zakresie transformacji energetycznej i gospodarczej.

Specyfika poszczególnych scenariuszy, wynikająca z zastosowanych technologii, ich efektów na poziomie europejskim i światowym oraz możliwości lokalnej implementacji, doprowadziła do ich podziału na dwie grupy: akcje i mikroakcje. Założono, że scenariusze przyporządkowane do grupy akcji mogą stanowić samodzielny model biznesowy, funkcjonujący jako niezależny podmiot gospodarczy lub odrębne przedsięwzięcie. W przypadku mikroakcji przyjęto, że będą one pełniły rolę uzupełniającą w modelu biznesowym – mogą współtworzyć całość w połączeniu z akcjami lub funkcjonować jako kompozycja dwóch lub więcej mikroakcji, tworząc kompleksowe przedsięwzięcie gospodarcze.

Przeprowadzone analizy strukturalne pozwoliły na wytypowanie kryteriów kluczowych oceny przydatności infrastruktury i zasobów zamykanych kopalni węgla kamiennego dla powyższych celów. W kolejnym kroku w oparciu o opracowane kryteria kluczowe, przeprowadzono analizę morfologiczną.

Analiza morfologiczna umożliwiła zidentyfikowanie punktów wspólnych między akcjami i mikroakcjami, co stanowi cenną wskazówkę dla tworzenia złożonych modeli biznesowych. Wyniki analizy wskazują na silne powiązania akcji „Wirtualna elektrownia” z akcją „Ekopark przemysłowy”, a także z akcją „Produkcja wodoru”. Na tej podstawie można przyjąć, że akcja „Wirtualna elektrownia” powinna być

rozważana w połączeniu z akcją „Ekopark przemysłowy”, tworząc wspólny model biznesowy, który może być dalej uzupełniany o inne akcje i/lub mikroakcje. Akcja „Produkcja wodoru” została także wskazana jako optymalne uzupełnienie tego modelu, zwiększając jego potencjał i spójność z założeniami strategicznymi UE.

Analiza morfologiczna mikroakcji pozwoliła zidentyfikować najsilniejsze powiązania między mikroakcją „Energia geotermalna”, a mikroakcją „Grawitacyjna produkcja energii”. Bliskość tych dwóch mikroakcji wynika z ich wspólnych cech technologicznych, komplementarności oraz potencjalnych korzyści wynikających z ich integracji w ramach jednego modelu biznesowego.

Takie synergiczne podejście wskazuje na możliwość budowy innowacyjnych rozwiązań energetycznych, które będą dostosowane do specyficznych wymagań lokalnych oraz będą wspierały realizację celów związanych z transformacją energetyczną i zrównoważonym rozwojem.

W kolejnym etapie przeprowadzono analizę wielokryterialną, opartą na założeniach wynikających z polityki Europejskiego Zielonego Ładu. Analiza umożliwiła identyfikację akcji i mikroakcji, które najlepiej wpisują się w cele związane z ograniczaniem zmian klimatycznych, utrzymywaniem zrównoważonego wzrostu gospodarczego oraz ochroną interesu pracowników. Wytypowano działania, które w największym stopniu odpowiadają tym założeniom i oczekiwaniom. Wśród nich najwyższe oceny w rankingu uzyskały akcje „Magazynowanie energii (roztwory soli stopionych)” i „Ekopark przemysłowy”, a także mikroakcja „Energia geotermalna”. Wyniki te wskazują na ich szczególny potencjał w kontekście realizacji celów transformacji energetycznej oraz społeczno-gospodarczej, co czyni je kluczowymi elementami rozważanych modeli biznesowych.

Wyniki przeprowadzonej analizy morfologicznej i strukturalnej umożliwiły wyłonienie grupy akcji i mikroakcji, które wydają się najbardziej optymalne do wdrożenia jako modele biznesowe z wykorzystaniem zasobów i infrastruktury zamykanych kopalń węgla kamiennego.

Przeprowadzono uzasadnienie wyboru modeli biznesowych w oparciu o wyniki analiz, ocenę poziomu gotowości technologicznej (TRL), wytyczne taksonomii europejskiej

oraz kwestie związane z synergią i integracją sektorów gospodarki z uwzględnieniem zasad gospodarki o obiegu zamkniętym. Analiza ta pozwoliła na wyłonienie optymalnych modeli biznesowych.

W tym kontekście przekształcenie zamykanych kopaliń w ekoparki przemysłowe, szczególnie w synergii z wirtualną elektrownią, zostało uznane za najbardziej odpowiednie i perspektywiczne rozwiązanie. W kolejnym etapie ekoparki mogą być rozszerzone o instalacje do produkcji zielonego wodoru lub systemy magazynowania energii w solach stopionych, co dodatkowo zwiększyłoby ich funkcjonalność i zrównoważony charakter.

Podsumowując, optymalnym modelem biznesowym jest rozwiązanie oparte na synergicznym funkcjonowaniu ekoparku przemysłowego i wirtualnej elektrowni. Jest to zintegrowana koncepcja, która może zostać wdrożona na terenach wycofanych z eksploatacji kopaliń węgla kamiennego, w ścisłej współpracy z otoczeniem mieszkalnymi i przemysłowym. Jej celem jest zrównoważone wytwarzanie energii odnawialnej, z wykorzystaniem zarówno źródeł geotermalnych (z wód kopalnianych), jak i energii elektrycznej z paneli PV oraz energii wiatrowej, z możliwością magazynowania energii.

Model ten opiera się na zasadach gospodarki o obiegu zamkniętym, dążąc do minimalizacji ilości odpadów i zanieczyszczeń. Promuje transport na krótkie odległości, optymalizację przepływu materiałów, zasobów i energii, a także wspiera produkcję towarów niezbędnych do przemysłowej transformacji Europy. Współpraca różnych sektorów i podmiotów w ramach tego modelu ma na celu nie tylko efektywną realizację transformacji energetycznej, ale również zrównoważony rozwój regionalny i gospodarczy.

Dla modelu biznesowego ekoparku przemysłowego (z wirtualną elektrownią) przeprowadzono analizę wskaźników rezultatów dla trzech wariantów:

1. uzupełnienia modelu o instalację do produkcji zielonego wodoru,
2. uzupełnienie modelu o instalację do magazynowania energii w solach stopionych
3. uzupełnienie modelu o instalację wspomagającą przesył energii.

Wskaźniki rezultatów bezpośrednich zostały wybrane z uwzględnieniem celów Europejskiego Zielonego Ładu, wymogów taksonomii europejskiej oraz wskaźników polityki regionalnej Funduszu na rzecz Sprawiedliwej Transformacji. Łącznie zidentyfikowano 17 wskaźników rezultatów bezpośrednich, których wpływ oceniono za pomocą badań eksperckich z wykorzystaniem metody Delphi.

Część prowadzonych badań została wykonana w ramach projektu finansowanego ze środków europejskiego Funduszu Badawczego Węgla i Stali (RFCS) o akronimie POTENTIALS (umowa nr 101034042 — POTENTIALS — RFCS-2020), którego celem było zbadanie synergistycznego potencjału likwidowanych kopalń węgla kamiennego, elektrowni węglowych oraz powiązanych gałęzi przemysłu (Krzemień, Frejowski i in., 2023).

11. Wnioski

Przeprowadzone analizy pozwoliły na sformułowanie wniosków dotyczących oceny możliwych scenariuszy wykorzystania zasobów i infrastruktury zamykanych kopalń dla innych celów gospodarczych, ze szczególnym uwzględnieniem przedsięwzięć związanych z produkcją i magazynowaniem energii odnawialnej prowadzonych na zasadach zgodnych z założeniami gospodarki o obiegu zamkniętym.

1. Metoda opisana w niniejszej rozprawie doktorskiej, zawierająca algorytm postępowania przy ocenie możliwości wykorzystania infrastruktury oraz zasobów kopalń węgla kamiennego po zakończeniu eksploatacji może być pomocnym narzędziem, które pozwoli właścicielowi podziemnej kopalni węgla kamiennego przeznaczonej do zamknięcia na przeprowadzenie dywersyfikacji działalności w oparciu o jej zasoby i infrastrukturę.
2. Efektem procesu restrukturyzacji przemysłu wydobywczego węgla kamiennego w państwach Europy Zachodniej było niemal całkowite wygaszenie tego sektora przemysłu. Proces obejmował stopniowe ograniczanie wydobycia węgla, transformację energetyczną polegającą na przechodzeniu na inne źródła energii, a także wdrażanie programów wspierających społeczności górnicze. Istotnym elementem tych działań było również tworzenie alternatywnych miejsc pracy w regionach dotkniętych restrukturyzacją.
3. W kontekście specyficznych uwarunkowań Polski wdrożenie procesu transformacji wymaga dostosowania do lokalnych realiów i aktualnych wyzwań. Analiza 35-letniej restrukturyzacji górnictwa węgla kamiennego wykazała, że działania koncentrowały się głównie na zamykaniu kopalń, redukcji wydobycia i zatrudnienia oraz wdrażaniu programów osłonowych. Zasoby po zamkniętych kopalniach były wykorzystywane w ograniczonym zakresie, co wskazuje na potencjał ich przyszłego zagospodarowania oraz możliwości osiągania korzyści w wymiarach gospodarczych i społecznych poprzez wdrażanie nowych modeli biznesowych.
4. Opracowane scenariusze możliwe do wdrożenia z wykorzystaniem zamykanej kopalni charakteryzują się różnym stopniem złożoności i mogą pełnić zarówno rolę głównego elementu modelu biznesowego, jak i go uzupełniać. Zaproponowany podział scenariuszy na akcje i towarzyszące im mikroakcje ma

charakter podglądowy i może stanowić istotne wsparcie dla planowania i budowy końcowego modelu biznesowego.

5. Analiza morfologiczna akcji wskazała, że największe powiązania występują pomiędzy akcją „Ekopark przemysłowy” i akcją „Wirtualna elektrownia”. Akcje te w modelu biznesowym należy traktować, jako mogące wzajemnie się uzupełniać i w związku z tym traktować je łącznie.
6. Wyniki analizy morfologicznej mikroakcji pozwoliła zidentyfikować najsilniejsze powiązania między mikroakcją „Energia geotermalna”, a mikroakcją „Grawitacyjna produkcja energii”. Bliskość tych dwóch mikroakcji wynika z ich wspólnych cech technologicznych, komplementarności oraz potencjalnych korzyści wynikających z ich integracji w ramach jednego modelu biznesowego. Współdziałanie tych mikroakcji w jednym modelu może nie tylko zwiększyć efektywność wykorzystania zasobów, ale również przyczynić się do stworzenia bardziej kompleksowego i niezawodnego systemu energetycznego. Połączenie tych technologii może być szczególnie korzystne w regionach, gdzie występują zasoby geotermalne, a infrastruktura kopalniana może zostać zaadaptowana do celów produkcji i magazynowania energii.
7. Wyniki kolejnych badań i analiz wskazują, że przekształcenie zamykanej kopalni węgla kamiennego w ekopark przemysłowy, oparty na energii produkowanej w wirtualnej elektrowni, stanowi uniwersalny, perspektywiczny i obiecujący model biznesowy. Ekoparki przemysłowe (z wirtualną elektrownią) mają najwyższą średnią w ocenie akcji, wysokie TRL dla technologii wytwarzania odnawialnej energii, brak istotnych barier związanych z wymaganiami europejskiej taksonomii, jak i znaczący wkład w rozwój gospodarki o obiegu zamkniętym. Charakteryzują się one także wysokim poziomem konkurencyjności i silnym powiązaniem między różnymi sektorami gospodarki.
8. Dodatkowym elementem modelu mogą być instalacje produkcji i dystrybucji wodoru, które dzięki wysokiemu poziomowi TRL, wykazują duży potencjał wdrożeniowy. Realizacja tego komponentu będzie wymagała wsparcia w postaci odpowiednich subwencji ekonomicznych dla zapewnienia zrównoważonych wyników finansowych i skuteczności operacyjnej całego modelu.

9. Opracowany w wyniku badań i analiz model biznesowy w postaci ekoparku przemysłowego z wirtualną elektrownią, umożliwia transformację eksploatacji węgla na gospodarkę niskoemisyjną, zgodną z założeniami polityki klimatycznej Unii Europejskiej. Model ten stanowi kluczowy element planu sprawiedliwej transformacji, łącząc proces dekarbonizacji z tworzeniem nowych miejsc pracy oraz wspieraniem rozwoju gospodarczego w regionach pogórnich. Istotnym aspektem tego modelu jest zrównoważona produkcja energii wraz z jej magazynowaniem. Stanowi to innowacyjne i efektywne wykorzystanie infrastruktury oraz zasobów zamykanych kopalń dla potrzeb innych gałęzi przemysłu.
10. Wyniki uzyskane dla wskaźników rezultatu bezpośredniego wykazały przewagę modelu biznesowego obejmującego ekopark przemysłowy z wirtualną elektrownią i produkcją wodoru. Pozostałe warianty osiągnęły także porównywalne wyniki i powinny być uwzględnione w dalszych analizach. Mimo różnic w wynikach dla poszczególnych technologii, na obecnym etapie żadna z nich nie powinna być wykluczona. Podkreślenia wymaga fakt, iż znaczenie poszczególnych technologii może różnić się w zależności od specyfiki danej lokalizacji. W niektórych przypadkach wiąże się to z koniecznością uwzględnienia odmiennych wymagań oraz priorytetów, które powinny zostać odpowiednio zidentyfikowane i uwzględnione w procesie planowania oraz wdrażania rozwiązań technologicznych.
11. Opracowana metoda pozwala na ocenę potencjału zamykanych podziemnych zakładów górniczych do ponownego ich wykorzystania. Każdy z kolejnych kroków zaprezentowanych w tej metodzie ma istotne znaczenie i może wpływać na ostateczne wyniki badań, a przede wszystkim przyczynić się do wyboru najbardziej optymalnej technologii w modelu biznesowym.
12. Uniwersalny charakter przedstawionej metody daje możliwość jej adaptacji i zastosowania w warunkach innych podziemnych kopalń, takich surowców jak: cynk i ołów, miedź, siarka czy złoża soli, a także na terenach likwidowanych elektrowni zasilanych paliwami kopalnymi, choć będzie to wymagało dostosowania do specyficznych warunków.

13. Przedstawiona prognoza żywotności kopalń wskazuje konieczność podjęcia działań dla wykorzystania zasobów i infrastruktury kopalń dla innych celów gospodarczych.
14. Przeprowadzona analiza wykazała, że w kopalniach o potencjalnie długim okresie prowadzenia eksploatacji, z uwagi na wielkość zasobów, występują trudne warunki związane z zagrożeniami naturalnymi. Wysokie skrępowanie eksploatacji w tych kopalniach będzie znacząco ograniczać możliwość długoletniej eksploatacji. Z drugiej strony kopalnie, w których zagrożenia naturalne nie powodują znaczącego skrępowania eksploatacji, nie posiadają udostępnionych zasobów w ilości pozwalającej na projektowanie perspektywicznej, długoletniej eksploatacji, bez konieczności znacznych inwestycji finansowych.
15. Należy prowadzić dalsze, zaawansowane badania w tym zakresie, uwzględniając potencjał tkwiący w proponowanym podejściu do strategicznego planowania oraz organizacji złożonych procesów transformacji. Szczególny nacisk powinien zostać położony na możliwości zastosowania tych rozwiązań nie tylko w odniesieniu do pojedynczych zakładów, ale również w szerszej perspektywie, na przykład w skali przedsiębiorstw. Podkreślenia wymaga również znaczenie aspektu ekonomicznego, który odgrywa kluczową rolę w procesie wdrażania nowych technologii i stanowi istotny element w kontekście ich efektywności oraz długoterminowej opłacalności.

Spis ilustracji

Rys. 2.1. Założenia realizowanej pracy	11
Rys. 2.2. Algorytm realizacji pracy	12
Rys. 2.3. Cele pracy i prowadzące do nich działania	13
Rys. 3.1. Zmiany organizacyjne w górnictwie węgla kamiennego w latach 1990 – 2024 (opracowanie własne)	20
Rys. 3.2. Lokalizacja obszarów górniczych kopalń węgla kamiennego w obszarze GZW – stan z przełomu lat 80. i 90. XX wieku (opracowanie własne)	22
Rys. 3.3. Lokalizacja czynnych kopalń węgla kamiennego na obszarze GZW (stan na 2024 rok) z zaznaczonymi kopalniami/ruchami wydobywczymi uwzględnionymi w badaniach (opracowanie własne)	26
Rys. 5.1. Wykres wpływów i zależności (opracowanie własne)	45
Rys. 5.2. Schemat kreowania pola morfologicznego w metodzie morfologicznej (opracowanie własne)	48
Rys. 5.3. Przykładowe macierze dla potrzeb analizy wielokryterialnej (opracowanie własne)	53
Rys. 5.4 Algorytm podjętych badań i analiz według przyjętej metodyki	59
Rys. 6.1. Mapa zależności i wpływów kryteriów przyjętych dla części podziemnej kopalni węgla kamiennego: a) dla wpływów bezpośrednich, b) dla wpływów pośrednich (opracowanie własne)	65
Rys. 6.2. Wykres wpływów pośrednich kryteriów przyjętych dla części podziemnej kopalni węgla kamiennego (opracowanie własne)	69
Rys. 6.3. Mapa zależności i wpływów kryteriów przyjętych dla części powierzchniowej kopalni węgla kamiennego: a) dla wpływów bezpośrednich, b) dla wpływów pośrednich (opracowanie własne)	71
Rys. 6.4. Wykres wpływów pośrednich kryteriów przyjętych dla części powierzchniowej kopalni węgla kamiennego (opracowanie własne)	73
Rys. 6.5. Mapa zależności i wpływów kryteriów przyjętych dla otoczenia kopalni węgla kamiennego: a) dla wpływów bezpośrednich, b) dla wpływów pośrednich (opracowanie własne)	77
Rys. 6.6. Wykres wpływów pośrednich kryteriów przyjętych dla otoczenia kopalni węgla kamiennego (opracowanie własne)	80
Rys. 6.7. Schemat postępowania w analizie morfologicznej (opracowanie własne)	83
Rys. 6.8. Podział scenariuszy na akcje i mikroakcje (opracowanie własne)	93
Rys. 6.9. Macierz „kryteria kluczowe – alternatywy rozwoju” dla akcji „Wirtualna elektrownia” (opracowanie własne)	98
Rys. 6.10. Mapa morfologicznej bliskości akcji (opracowanie własne)	99
Rys. 6.11. Wykres morfologicznego dopasowania akcji (opracowanie własne)	100
Rys. 6.12. Mapa morfologicznej bliskości mikroakcji (opracowanie własne)	101
Rys. 6.13. Wykres morfologicznego dopasowania mikroakcji (opracowanie własne)	102
Rys. 6.14. Mapa czułości rankingu akcji od polityk (opracowanie własne)	107
Rys. 6.15. Mapa bliskości akcji i polityk (opracowanie własne)	108
Rys. 6.16. Mapa czułości rankingu mikroakcji od polityk (opracowanie własne)	110
Rys. 6.17. Mapa bliskości mikroakcji i polityk (opracowanie własne)	111
Rys. 7.1. Ocena akcji (opracowanie własne)	125
Rys. 7.2. Ocena mikroakcji (opracowanie własne)	127
Rys. 9.1. Mapa zależności i wpływów kryteriów przyjętych dla określenia skrępowania eksploatacji: a) dla wpływów bezpośrednich, b) dla wpływów pośrednich (opracowanie własne)	142
Rys. 9.2. Wykres wpływów pośrednich kryteriami przyjętych dla określenia skrępowania eksploatacji (opracowanie własne)	144

Rys. 9.3. Mapa zależności i wpływów kryteriów przyjętych dla określenia jakości zasobów oraz poziomu skomplikowania dostępu do nich: a) dla wpływów bezpośrednich, b) dla wpływów pośrednich (opracowanie własne)	145
Rys. 9.4. Wykres wpływów pośrednich kryteriów przyjętych dla określenia jakości zasobów oraz poziomu skomplikowania dostępu do nich (opracowanie własne)	147
Rys. 9.5. Niebezpieczne zdarzenia związane z zagrożeniem gazowym, pożarowym i tąpnięcia w analizowanych kopalniach, na tle ich prognozowanej żywotności (opracowanie własne)	155

Spis tabel

Tabela 3.1. Kopalnie zamknięte bez połączenia z innymi kopalniami (opracowanie własne)	23
Tabela 3.2. Kopalnie zamknięte po połączeniu z inną kopalnią (opracowanie własne)	24
Tabela 4.1. Przykłady wykorzystania infrastruktury i zasobów zamykanych kopalń w państwach europejskich oraz doświadczenia światowe (opracowanie własne)	37
Tabela 6.1. Dane dotyczące ekspertów biorących udział w badaniach metodą Delphi	61
Tabela 6.2. Macierz wpływów pośrednich kryteriów przyjętych dla części podziemnej kopalni węgla kamiennego – na czerwono wpływy najsilniejsze, na niebiesko wpływy relatywnie silne (opracowanie własne)	68
Tabela 6.3. Macierz wpływów pośrednich kryteriów przyjętych dla części powierzchniowej kopalni węgla kamiennego – na czerwono wpływy najsilniejsze, na niebiesko wpływy relatywnie silne (opracowanie własne)	72
Tabela 6.4. Macierz wzajemnych wpływów pośrednich kryteriów przyjętych dla otoczenia kopalni węgla kamiennego – na czerwono wpływy najsilniejsze, na niebiesko wpływy relatywnie silne (opracowanie własne)	79
Tabela 6.5. Kryteria kluczowe (opracowanie własne)	82
Tabela 6.6. Macierz „kryteria kluczowe – alternatywy rozwoju” (opracowanie własne)	92
Tabela 6.7. Przyjęte scenariusze dla akcji (opracowanie własne)	98
Tabela 6.8. Przyjęte scenariusze dla mikroakcji (opracowanie własne)	101
Tabela 6.9. Kryteria wykorzystane w analizie wielokryterialnej (opracowanie własne)	104
Tabela 6.10. Polityki wykorzystane w analizie wielokryterialnej (opracowanie własne)	105
Tabela 6.11. Wyniki analizy wielokryterialnej: ocena akcji dotyczących poszczególnych polityk Europejskiego Zielonego Ładu (opracowanie własne)	106
Tabela 6.12. Wyniki analizy wielokryterialnej: ocena mikroakcji dotyczących poszczególnych polityk Europejskiego Zielonego Ładu (opracowanie własne)	109
Tabela 7.1. Poziomy gotowości technologicznej	113
Tabela 7.2. Wykaz wybranych akcji w odniesieniu do taksonomii UE	118
Tabela 7.3. Wykaz wybranych mikroakcji w odniesieniu do taksonomii UE	118
Tabela 7.4. Wyniki oceny dla poszczególnych akcji (opracowanie własne)	125
Tabela 7.5. Wyniki oceny dla poszczególnych mikroakcji (opracowanie własne)	126
Tabela 8.1. Tabela wskaźników rezultatu według wytycznych Europejskiego Zielonego Ładu	129
Tabela 8.2. Dane dotyczące ekspertów biorących udział w badaniach metodą Delphi (opracowanie własne)	130
Tabela 8.3. Wskaźniki rezultatów bezpośrednich dla wybranych akcji oraz mikroakcji, jako złożonego modelu biznesowego (opracowanie własne)	131
Tabela 9.1. Dane dotyczące ekspertów biorących udział w badaniach metodą Delphi (opracowanie własne)	141
Tabela 9.2. Macierz wpływów pośrednich dla kryteriów przyjętych dla okreslenia skrupowania eksploatacji – na czerwono wpływy najsilniejsze, na niebiesko wpływy relatywnie silne (opracowanie własne)	143
Tabela 9.3. Macierz wpływów pośrednich dla kryteriów przyjętych dla określenia jakości zasobów oraz poziomu skomplikowania dostępu do nich – na czerwono wpływy najsilniejsze, na niebiesko wpływy relatywnie silne (opracowanie własne)	147

Tabela 9.4. Zbiorcze zestawienie wyników analizy strukturalnej – kryteria (opracowanie własne)	148
Tabela 9.5. Niebezpieczne zdarzenia związane z kryteriami kluczowymi przyjętymi dla skrzepowania eksploatacji w analizowanych kopalniach w latach 2008–2024 (opracowanie własne)	150
Tabela 9.6. Wyniki analizy statystycznej zdarzeń związanych z występowaniem zagrożeń naturalnych (opracowanie własne).....	151
Tabela 9.7. Informacje związane kryteriami kluczowymi przyjętymi dla jakości zasobów i poziomu skomplikowania dostępu do nich w analizowanych kopalniach (opracowanie własne)	152
Tabela 9.8. Określanie poziomu zagrożenia eksploatacji ze względu występowanie niebezpiecznych zdarzeń związanych z zagrożeniami naturalnymi (opracowanie własne)	154
Tabela 9.9. Stan zagrożeń i ocena prognozy żywotności analizowanych kopalń (opracowane własne).....	156

Literatura

1. Agrawal, N. M. (2019). Modeling Deming's quality principles to improve performance using interpretive structural modeling and MICMAC analysis. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 36(7), 1159–1180. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-07-2018-0204>
2. Álvarez Fernández, T. (2024). Mujeres que minan: práctica de archivo experimental en el entorno web.
3. Aragón, F. M., Rud, J. P., i Toews, G. (2015). *Mining closure, gender and employment reallocations: the case of UK coal mines*. 2011, 1–33. http://www.sfu.ca/~faragons/index/Research_files/minesUK.pdf
4. Aristizabal-H, G., Goerke-Mallet, P., Kretschmann, J., i Restrepo-Baeba, O. J. (2023). Sustainability of coal mining. Is Germany a post-mining model for Colombia? *Resources Policy*, 81 (2023).
5. Asmus, P. (2010). Microgrids, Virtual Power Plants and Our Distributed Energy Future. *Electricity Journal*, 23(10), 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2010.11.001>
6. Backhaus, C., Mroz, A., i Willenbrink, B. (2002). Coal mine gas from abandoned mines. *Polish Geological Institute Special Papers*, 7, 33–40.
7. Baic, I., Blaschke, W., i Gaj, B. (2019). Przeróbka węgla kamiennego w Polsce–stan obecny i trendy przyszłościowe. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*, (108), 83–97.
8. Balkangreenenergynews. (2023). *Slovenia inaugurates Prapretno, its biggest solar power plant*.
9. Banks, D., Athresh, A., Al-Habaibeh, A., i Burnside, N. (2019). Water from abandoned mines as a heat source: practical experiences of open- and closed-loop strategies, United Kingdom. *Sustainable Water Resources Management*, 5(1), 29–50. <https://doi.org/10.1007/s40899-017-0094-7>
10. Banks, D., Pumar, A. F., i Watson, I. (2009). The operational performance of Scottish minewater-based ground source heat pump systems. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 42(3), 347–357. <https://doi.org/10.1144/1470-9236/08-081>
11. Baywa-re. (2023). *Largest Floating-PV plant in Central Europe realised*.
12. Beatty, C., Fothergill, S., i Powell, R. (2007). Twenty Years on: Has the Economy of the UK Coalfields Recovered? *Environment and Planning A: Economy and Space*, 39(7).
13. Bednorz, J. (2015). Polscy producenci węgla kamiennego w czasie kryzysu – lata 2013–2015. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk*, 90, 5–18.
14. Bijańska, J., & Wodarski, K. (2024). Hard coal production in Poland in the aspect of climate and energy policy of the European Union and the war in Ukraine. Investment case study. *Resources Policy*, 88, 104390.
15. Blinova, E., Ponomarenko, T., i Knysh, V. (2022). Analyzing the Concept of Corporate Sustainability in the Context of Sustainable Business Development in the Mining Sector with Elements of Circular Economy. *Sustainability (Switzerland)*, 14(13). <https://doi.org/10.3390/su14138163>
16. Bondaruk, J., Janson, E., Wysocka, M., i Chałupnik, S. (2015). Identification of hazards for water environment in the Upper Silesian Coal Basin caused by the discharge of salt mine water containing particularly harmful substances and radionuclides. *Journal of Sustainable Mining*, 14(4), 179–187. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2016.01.001>
17. Borkowski, Z. (2004). Restrukturyzacja górnictwa węglowego w Belgii. *Wiadomości Górnicze*, 55(7-8), 360–365.
18. Borowski, M., Życzkowski, P., Cheng, J., Łuczak, R., & Zwolińska, K. (2020). The combustion of methane from hard coal seams in gas engines as a technology leading to reducing greenhouse gas emissions—electricity prediction using ANN. *Energies*, 13(17), 4429.
19. Borowski, M., Życzkowski, P., Zwolińska, K., Łuczak, R., & Kuczera, Z. (2021). The security of energy supply from internal combustion engines using coal mine methane—Forecasting of the electrical energy generation. *Energies*, 14(11), 3049.
20. Brabham, P., Manju, M., Thomas, H., Farr, G., Francis, R., Sahid, R., i Sadasivam, S. (2019). The potential use of mine water for a district heating scheme at Caerau, upper Llynfi valley, South Wales, UK. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 53(1), 145–158. <https://doi.org/10.1144/qjegh2018-213>

21. Bradecki, W., i Dubiński, J. (2005). Wpływ restrukturyzacji polskiego górnictwa węgla kamiennego na poziom zagrożeń naturalnych. *Archives of Mining Sciences*, 50(1), 49–67.
22. Brown, T., Schlachberger, D., Kies, A., Schramm, S., i Greiner, M. (2018). Synergies of sector coupling and transmission reinforcement in a cost-optimised, highly renewable European energy system. *Energy*, 160, 720–739. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.222>
23. Bukowska, M., i Gawryś, J. (2010). Właściwości fizyczne węgla GZW w aspekcie wyrzutów gazów i skał (Physic. *Górnictwo i Geoinżynieria*, 34(2), 121–129.
24. Burtan, Z. (2016). Znaczenie skojarzonych zagrożeń naturalnych w kopalniach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Przegląd Górniczy*, 11, 21–29.
25. Burtan, Z., Stasica, J., i Rak, Z. (2017). Wpływ katastrofogennych zagrożeń naturalnych na bezpieczeństwo pracy w górnictwie węgla kamiennego w latach 2000–2016. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk*, 101, 7–18.
26. Butturi, M. A., Lolli, F., Sellitto, M. A., Balugani, E., Gamberini, R., i Rimini, B. (2019). Renewable energy in eco-industrial parks and urban-industrial symbiosis: A literature review and a conceptual synthesis. *Applied Energy*, 255(September), 113825. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113825>
27. Capurso, T., Stefanizzi, M., Torresi, M., i Camporeale, S. M. (2022). Perspective of the role of hydrogen in the 21st century energy transition. *Energy Conversion and Management*, 251(July 2021), 114898. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114898>
28. Černoch, F., Osička, J., i Mariňák, S. (2021). The “coal villain” of the European Union? Path dependence, profiteering and the role of the Energetický a průmyslový holding (EPH) company in the energy transition. *Energy Research and Social Science*, 76(April). <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102066>
29. Chen, G., i Wan, L. (2011). Research and application of thermal storage with phase change materials. W *Advanced Materials Research* (T. 250–253). <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.250-253.3541>
30. Chmiela, A. (2022). Procesy restrukturyzacji i rewitalizacji kopalń postawionych w stan likwidacji. *Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji*, 11(1), 28–39.
31. Chroszcz, H. (2005). Kryteria kwalifikowania zasobów bilansowych do przemysłowych i nieprzemysłowych w górnictwie węgla kamiennego w praktyce kopalnianej. *Polityka Energetyczna*, 8(Zeszyt specjalny), 275–282.
32. Czapnik, A., Janson, E., i Jasińska, A. (2009). Wybrane problemy monitoringu w zlikwidowanych kopalniach węgla kamiennego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 436(9/1), 55–60.
33. de Rose, A., Buna, M., Strazza, C., Olivieri, N., Stevens, T., Peeters, L., i Tawil-Jamault, D. (2017). Technology Readiness Level: Guidance Principles for Renewable Energy technologies - Final Report. W *Eur 27988 En*. <https://www.gransking.fo/media/2900/trl-orka.pdf>
34. Declercq, P. Y., Duser, M., Pirard, E., Verbeurgt, J., Choopani, A., i Devleeschouwer, X. (2023). Post Mining Ground Deformations Transition Related to Coal Mines Closure in the Campine Coal Basin, Belgium, Evidenced by Three Decades of MT-InSAR Data. *Remote Sensing*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/rs15030725>
35. Defosse, P., Lemal, S., i Schumacher, J.-P. (2013). Coal mine methane management, Nord-Pas-de-Calais, France. W *Proceedings of the Eighth International Seminar on Mine Closure*. https://doi.org/10.36487/acg_rep/1352_50_defosse
36. Dhir, S., i Dhir, S. (2020). Modeling of strategic thinking enablers: a modified total interpretive structural modeling (TISM) and MICMAC approach. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 11(1), 175–188. <https://doi.org/10.1007/s13198-019-00937-z>
37. Drenda, J., Różański, Z., Słota, K., i Wrona, P. (2007). Zagrożenie pożarowe na zwalowiskach odpadów powęglowych. *Górnictwo i Geoinżynieria*, 31(3/1), 149–158.
38. Drzewiecki, J., i Frejowski, A. (2010). Ocena skuteczności prowadzenia eksploatacji w aspekcie zaburzeń tektonicznych i sedymentacyjnych. *Górnictwo i Geoinżynieria*, 34(2), 121–129.
39. Dubiński, J., i Turek, M. (2009). Wybrane aspekty zmian restrukturyzacyjnych w polskim górnictwie węgla kamiennego (w latach 1990 - 2008). *Prace Naukowe GIG Górnictwo i Środowisko*, 2, 5–19.
40. Duda, A., i Krzemień, A. (2018). Forecast of methane emission from closed underground coal mines exploited by longwall mining – A case study of Anna coal mine. *Journal of Sustainable Mining*, 17(4), 184–194. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2018.06.004>
41. Duffaut, P., i Vaskou, P. (2014). Geological and Geographical Criteria for Underground Siting of Nuclear Reactors. *SRM International Symposium - 8th Asian Rock Mechanics Symposium*.
42. Duperrin, J.-C., i Godet, M. (1975). SMIC 74—A method for constructing and ranking

- scenarios. *Futures*, 7(4), 302–312.
43. Düzgün, H. S. B. (2005). Analysis of roof fall hazards and risk assessment for Zonguldak coal basin underground mines. *International Journal of Coal Geology*, 64(1–2), 104–115. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2005.03.008>
44. Dyczko, A., Kamiński, P., Stecula, K., Prostański, D., Kopacz, M., & Kowol, D. (2021). Thermal and mechanical energy storage as a chance for energy transformation in Poland. *Polityka Energetyczna*, 24.
45. Dyrektywa.2011/70/EURATOM. (2011). Dyrektywa Rady 2011/70/EURATOM z dnia 19 lipca 2011 r. ustanawiająca ramy wspólnotowe w zakresie odpowiedzialnego i bezpiecznego gospodarowania wypalonym paliwem jądrowym i odpadami promieniotwórczym. *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*, 199/48, 9.
46. Dyrektywa/2000/60/WE. (2000a). Dyrektywa 2000/60/WE z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej. *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*, 327, 1–73. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0075ifrom=EN>
47. Dyrektywa/2000/60/WE. (2000b). Dyrektywa 2000/60/WE z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej. *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej* 22.11.2008.
48. Dyrektywa/2006/21/WE. (2006). Dyrektywa 2006/21/WE z dnia 15 marca 2006 r. w sprawie gospodarowania odpadami pochodzącymi z przemysłu wydobywczego oraz zmieniająca dyrektywę 2004/35/WE. W *Dziennik Ustaw* (T. 248, Numer 1083, ss. 1–89).
49. Dyrektywa/2006/66/WE. (2006). Dyrektywa 2006/66/WE z dnia 6 września 2006 r. w sprawie baterii i akumulatorów oraz zużytych baterii i akumulatorów oraz uchylająca dyrektywę 91/157/EWG. *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*, 60, 1–79.
50. Dyrektywa/2008/98. (2008). Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy. W *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej* 22.11.2008 (T. 312).
51. Dyrektywa/2018/2001. (2018). Dyrektywa (UE) 2018/2001 z dnia 11 grudnia 2018 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych. W *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*: T. L 328.
52. Dyrektywa/2018/410. (2018). Dyrektywa (UE) 2018/410 z dnia 14 marca 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2003/87/WE w celu wzmocnienia efektywnych pod względem kosztów redukcji emisji oraz inwestycji niskoemisyjnych oraz decyzję (UE) 2015/1814. *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*.
53. Dyrektywa/2018/851. (2018). Dyrektywa (UE) 2018/851 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2008/98/WE w sprawie odpadów. W *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej* (Numer 1907, ss. 109–140).
54. Dyrektywa/2018/852. (2018). Dyrektywa (UE) 2018/852 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 94/62/WE w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych. *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*, 150, 141–154.
55. Dyrektywa/2019/944. (2019). Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/944 z dnia 5 czerwca 2019 r. w sprawie wspólnych zasad rynku wewnętrznego energii elektrycznej i zmieniająca dyrektywę 2012/27/UE. *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*, 158, 125–199. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2019.158.01.0125.01.ENG&itoc=OJ:L:2019:158:TOC
56. Dyrektywa/2022/2464. (2022). Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2022/2464 z dnia 14 grudnia 2022 r. w sprawie sprawozdawczości przedsiębiorstw dotyczącej zrównoważonego rozwoju (*Corporate Sustainability Reporting Directive, CSRD*). 1999(401), 15–80. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022L2464ifrom=EN>
57. Dyrektywa/2023/1791. (2023). Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/1791 z dnia 13 września 2023 r. w sprawie efektywności energetycznej oraz zmieniająca rozporządzenie (UE) 2023/955 (wersja przekształcona). W *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej* (T. 231, Numer 1). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023L1791>
58. Dyrektywa/2023/2413. (2023). Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/2413 z dnia 18 października 2023 r. zmieniająca dyrektywę (UE) 2018/2001, rozporządzenie (UE) 2018/1999 i dyrektywę 98/70/WE w odniesieniu do promowania energii ze źródeł odnawialnych oraz uchylająca dyr. 259, 1–20.
59. Dz. U. 1997 Nr 54 poz. 348 z 10 kwietnia 1997 - prawo energetyczne..
60. Dz.U. 2003 Nr 8 poz. 717. (2003). Ustawa z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i

61. zagospodarowaniu przestrzennym (Dz.U. 2003 Nr 8 poz. 717). *Dziennik Ustaw*, 80(717), 1–108.
62. Dz.U. 2013 poz. 21. (2013). Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz.U. 2013 poz. 21). *Dziennik Ustaw*, 21, 1–257.
63. Dz.U. 2015 poz. 478. (2015). Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii (Dz.U. 2015 poz. 478). *Dziennik Ustaw*, 478.
64. Dz.U. 2021 poz. 1093. (2021). Ustawa z dnia 20 maja 2021 r. o zmianie ustawy - Prawo energetyczne (). *Dziennik Ustaw*, 1093, 1–115.
65. Ertugrul, N. (2017). Battery storage technologies, applications and trend in renewable energy. *IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies, ICSET*, 0, 420–425. <https://doi.org/10.1109/ICSET.2016.7811821>
66. Europejski Trybunał Obrachunkowy. (2022). *Wsparcie UE na rzecz regionów górniczych*.
67. Evans, B. G., Cleal, C. J., i Thomas, B. A. (2018). Geotourism in an Industrial Setting: the South Wales Coalfield Geoheritage Network. *Geoheritage*, 10(1), 93–107. <https://doi.org/10.1007/s12371-017-0226-3>
68. Fernihough, A., i O'Rourke, K. H. (2021). Coal and the European Industrial Revolution. *Economic Journal*, 131(635), 1135–1149. <https://doi.org/10.1093/ej/ueaa117>
69. Frejowski, A. (2006). Zmienność chemizmu wód podziemnych w złożu węgla kamiennego KWK „Piast” - Ruch I. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej*.
70. Frejowski, A. (2005). Górnictwo złota w okolicach Kalgoorlie-Boulder, WA-historia i teraźniejszość. *Zeszyty Naukowe. Górnictwo/Politechnika Śląska*, (269), 169–178.
71. Frejowski, A. (2006). Geoturystyczne atrakcje południowo-zachodniej części Australii Zachodniej. *Zeszyty Naukowe. Górnictwo/Politechnika Śląska*, (273), 315–325.
72. Frejowski, A. (2013). Wybrane kryteria aerologiczne determinujące bezpieczne prowadzenie podziemnego zgazowania węgla w warunkach GZW. W *Zagrożenia aerologiczne w kopalniach węgla kamiennego – profilaktyka, zwalczanie, modelowanie, monitoring*. Główny Instytut Górnictwa.
73. Frejowski, A., Bondaruk, J., i Duda, A. (2021). Challenges and opportunities for end-of-life coal mine sites: Black-to-green energy approach. *Energies*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/en14051385>
74. Frejowski, A., i Kabiesz, J. (2020). Criteria for assessing the longevity of hard coal mines. *Archives of Mining Sciences*, 65(3), 433–452. <https://doi.org/10.24425/ams.2020.134128>
75. Frejowski, A., i Koterak, A. (2016). Kryteria warunków lokalizacji georeaktora PZW w górotworze karbońskim naruszoną eksploatacją górniczą. *Wiadomości Górnicze*, 67(1), 29–38.
76. Frejowski, A., i Myszkowski, J. (2012). Wybrane kryteria geologiczne determinujące stosowanie dostępnych technologii górniczych dla podziemnego zgazowania węgla kamiennego. W *Zagrożenia i Technologie* (ss. 99–108). Główny Instytut Górnictwa.
77. Frużyński, A. (2012). Rozwój konstrukcji wież szybowych w górnolaskich kopalniach. *Górniki Polski, Zeszyty Naukowe MGW w Zabrze*, 6, 59–86.
78. Gabzdyl, W., Probiez, K., i Marcisz, M. (2004). Dokładność rozpoznania geologicznego złoża a możliwość selektywnej eksploatacji pokładów węgla. W *Zeszyty Naukowe. Górnictwo / Politechnika Śląska* (ss. 69–79).
79. Gajdzik-Szot, I. (2018). Koks jako paliwo ograniczające niską emisję. *Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji*, 7(2), 118–127.
80. Gawor, Ł., Szmatoch, A., i Dolnicki, P. (2013). Waloryzacja zwałowisk pogórnich jako obiektów geoturystycznych . na przykładzie Zagłębia Ruhry. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, 24, 106–118.
81. Gawor, Ł., Warcholik, W., i Dolnicki, P. (2014). Możliwości eksploatacji złóż wtórnych (zwałowisk pogórnich) jako przykład zmian w sektorze przemysłu wydobywczego. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, 27, 256–266.
82. Geyer, M., i Prieto, C. (2022). Storing energy using molten salts. *Storing Energy*, 445–486.
83. Gibbs, E., i Phillips, J. (2019). Remembering Auchengeich: the largest fatal accident in Scottish coal mining in the nationalised era. *Scottish Labour History*, 54, 47–57.
84. GIG. (2024). *Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego*.
85. Godet, M. (1986). Introduction to la prospective: Seven key ideas and one scenario method. *Futures*, 18(2), 134–157.
86. Godet, M. (2000). The Art of Scenarios and Strategic Planning: Tools and Pitfalls. *Technological*

87. Gogolewska, A. B. (2016). Analiza zagrożenia wyrzutami gazów i skał w złożu węgla kamiennego w niecce wałbrzyskiej z zastosowaniem narzędzi GIS. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej*, 133(40), 49–73.
88. Groppi, D., Astiaso Garcia, D., Lo Basso, G., Cumo, F., i De Santoli, L. (2018). Analysing economic and environmental sustainability related to the use of battery and hydrogen energy storages for increasing the energy independence of small islands. *Energy Conversion and Management*, 177(June), 64–76. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.09.063>
89. Györe, D., McKavney, R., Gilfillan, S. M. V., i Stuart, F. M. (2018). Fingerprinting coal-derived gases from the UK. *Chemical Geology*, 480(August 2017), 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2017.09.016>
90. Hadro, J., i Wójcik, I. (2013). Metan pokładów węgla: Zasoby i eksploatacja. *Przegląd Geologiczny*, 61(7), 404–410.
91. Hahn, F., Jagert, F., Bussmann, G., Nardini, I., Bracke, R., Seidel, T., i König, T. (2019). The reuse of the former Markgraf II colliery as a mine thermal energy storage. *European Geothermal Congress, June*, 11–14.
92. Halbrügge, S., Buhl, H. U., Fridgen, G., Schott, P., Weibelzahl, M., i Weissflog, J. (2022). How Germany achieved a record share of renewables during the COVID-19 pandemic while relying on the European interconnected power network. *Energy*, 246. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123303>
93. Halbrügge, S., Schott, P., Weibelzahl, M., Buhl, H. U., Fridgen, G., i Schöpf, M. (2021). How did the German and other European electricity systems react to the COVID-19 pandemic? *Applied Energy*, 285(August 2020), 116370. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116370>
94. Hunt, J. D., Zakeri, B., Jurasz, J., Dąbek, P., Brandão, R., Patro, E. R., Durin, B., Leal Filho, W., Wada, Y., van Ruijven, B., i Riahi, K. (2022). Underground Gravity Energy Storage: A Solution for Long-Term Energy Storage. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4184471>
95. Huq, N. (2016). Cyber Threats to the Mining Industry. W *A TrendLabs Research Paper*.
96. Hussein, E. M. A. (2020). Emerging small modular nuclear power reactors: A critical review. *Physics Open*, 5(July), 100038. <https://doi.org/10.1016/j.physo.2020.100038>
97. Ivković, Z., Tošić, D., i Dramlić, D. (2022). Analysis of Coal Reserves With the Potential for Underground Exploitation in the Republic of Serbia. *Archives for Technical Sciences*, 1(26), 43–48. <https://doi.org/10.7251/afts.2022.1426.043i>
98. Jachowicz, P. (1999). Strajk górników brytyjskich w latach 1984–1985. *Dzieje Najnowsze*, 31/2, 137–158.
99. Janson, E. (2008). Wpływ zatapiania i odwadniania zlikwidowanych kopalń węgla kamiennego na środowisko zlewni Przemyszy. *Zeszyty Naukowe. Górnictwo / Politechnika Śląska*, 285, 105–115.
100. Jaros, J. (1975). *Zarys dziejów górnictwa węglowego*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
101. Jęczmyk, M. (2011). Zollverein XII w Essen. Przebudowa zespołu budynków kopalni węgla kamiennego w kompleks kulturalno-gospodarczy. *Studia Ekonomiczne/Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach*, (75 Zarządzanie projektami lokalnymi: przykłady realizacji), 48–66.
102. Jiang, L., Xue, D., Wei, Z., Chen, Z., Mirzayev, M., Chen, Y., i Chen, S. (2022). Coal decarbonization: A state-of-the-art review of enhanced hydrogen production in underground coal gasification. *Energy Reviews*, 1(1), 100004. <https://doi.org/10.1016/j.enrev.2022.100004>
103. Johnson, D. B., i Hallberg, K. B. (2005). Acid mine drainage remediation options: A review. *Science of the Total Environment*, 338(1-2 SPEC. ISS.), 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.09.002>
104. Johnson, S. C., Todd Davidson, F., Rhodes, J. D., Webber, M. E., Coleman, J. L., Bragg-Sitton, S. M., i Dufek, E. J. (2019). Selecting Favorable Energy Storage Technologies for Nuclear Power. W *Storage and Hybridization of Nuclear Energy: Techno-economic Integration of Renewable and Nuclear Energy*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813975-2.00005-3>
105. Johnston, D., Potter, H., Jones, C., Rolley, S., Watson, I., i Pritchard, J. (2008). Abandoned mines and the water environment. W *Science Report* (Numer SC030136/SR41rSCHO0508BNZS-E-P). www.environment-agency.gov.uk
106. Jureczka, Janusz, i Galos, K. (2007). Niektóre aspekty ponownego zagospodarowania zlikwidowanych kopalń węgla kamiennego w Górnoślaskim Zagłębiu Węglowym. *Polityka Energetyczna*, 10(2), 645–662.
107. Jureczka, Janusz, i Galos, K. (2008). Ochrona zasobów złóż węgla kamiennego kopalń

- likwidowanych w procesie restrukturyzacji w Polsce – regulacje prawne a rzeczywistość. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 24(4/4), 117–128.
108. Jurin, J. P. G. (2008). *Aplicación de análisis estructural y morfológico a los factores determinantes para la seguridad en Bogotá*. <https://bit.ly/3vcNtNS>
109. Kabiesz, J. (2016). *Koincydencja górniczych zagrożeń naturalnych*. Główny Instytut Górnictwa.
110. Kaczmarek, J., Kolegowicz, K., i Szymła, W. (2022). Restructuring of the Coal Mining Industry and the Challenges of Energy Transition in Poland (1990–2020). *Energies*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/en15103518>
111. Karbownik, A., i Bijańska, J. (2000). *Restrukturyzacja polskiego górnictwa węgla kamiennego w latach 1990 - 1999*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
112. Karbownik, A., i Turek, M. (2002). Restrukturyzacja polskiego górnictwa węgla kamiennego w latach 1998-2001 - decyzje i działania. *Wiadomości Górnicze*, 53(1), 46–54.
113. Karbownik, A., i Turek, M. (2011). Zmiany w górnictwie węgla kamiennego – geneza, przebieg, efekty. *Przegląd Górniczy*, 67(7–8), 11–18.
114. Kędzior, S., i Dreger, M. (2019). Methane occurrence, emissions and hazards in the Upper Silesian Coal Basin, Poland. *International Journal of Coal Geology*, 211(December 2018), 103226. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2019.103226>
115. Kershaw, S., i Whitworth, K. (2005). *Projected Methane Emissions from Abandoned Coal Mines in the UK*.
116. Knechtel, J. (2007). Przewidywane zagrożenie klimatyczne w kopalniach i związane z tym zapotrzebowanie na moc chłodniczą. *Prace Naukowe GIG Górnictwo i Środowisko*, 1, 59–70.
117. Komisja Europejska. (2018). *Development of a system of common indicators for European Regional Development Fund and Cohesion Fund interventions after 2020*.
118. Komisja Europejska. (2020). *Nowy plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym na rzecz czystszej i bardziej konkurencyjnej Europy. (COM(2020) 98 final)*.
119. Konicek, P., Jirankova, E., Kajzar, V., Schreiber, J., Malucha, P., i Schuchova, K. (2022). Seismic Activity and Flooding of Hard Coal Mines in the Ostrava-Karvina Coalfield. *Journal of Sustainable Mining*, 21(4). <https://doi.org/10.46873/2300-3960.1363>
120. Konopko, W. (2010). *Warunki bezpiecznej eksploatacji pokładów węgla zagrożonych metanem, tąpnięciami i pożarami endogenicznymi*. Główny Instytut Górnictwa.
121. Kordos, J. (2019). Tests of new method of monitoring endogenous fire hazard in hard coal mines. *Journal of Sustainable Mining*, 18(3), 134–141. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2019.04.002>
122. Kosiarz, E. (2022). Nieefektywna restrukturyzacja górnictwa węgla kamiennego. *Kontrola państwowa*, 6(Kontrola i audyt), 46–59. <https://doi.org/10.53122/ISSN.0452-5027/2022.1.44>
123. Kostović, M., Kostović, N., i Tokalić, R. (2018). Coal mining and preparation in Serbia. *Underground Mining Engineering - University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology*, 33, 69–77. <https://doi.org/10.29227/IM-2018-01-40>
124. Krause, E., i Pokryszka, Z. (2013). Investigations on methane emission from flooded workings of closed coal mines. *Journal of Sustainable Mining*, 12 (2)(6).
125. Krause, E. (2003). Wpływ modelowania rozkładu metanonośności w pokładzie eksploatowanym oraz w złożu w otoczeniu projektowanych ścian na dokładność prognoz. W *Zeszyty Naukowe. Górnictwo / Politechnika Śląska* (ss. 455–466).
126. Krause, E., i Krzemień, K. (2014). Methane Risk Assessment in Underground Mines by Means of a Survey by the Panel of Experts (Sope). *Journal of Sustainable Mining*, 13(2), 6–13. <https://doi.org/10.7424/jsm140202>
127. Kretschmann, J., Efremkov, A. B., i Khoreshok, A. A. (2017). From Mining to Post-Mining: The Sustainable Development Strategy of the German Hard Coal Mining Industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 50(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/50/1/012024>
128. Kretschmann, Jürgen. (2020a). Post-Mining—a Holistic Approach. *Mining, Metallurgy and Exploration*, 37(5), 1401–1409. <https://doi.org/10.1007/s42461-020-00265-y>
129. Kretschmann, Jürgen. (2020b). Sustainable Change of Coal-Mining Regions. *Mining, Metallurgy and Exploration*, 37(1), 167–178. <https://doi.org/10.1007/s42461-019-00151-2>
130. Kretschmann, Jürgen, i Hegemann, M. (2012). New chances from old shafts. Risk management in abandoned mine sites in Germany. *Proceedings of the Annual Meeting of the Society for Mining, Metallurgy i Exploration*, 153–158.
131. Kretschmann, Jürgen, i Nguyen, N. (2020). Research areas in post-mining – Experiences from German hard coal mining. *Inżynieria Mineralna*, 1(1), 255–262. <https://doi.org/10.29227/IM-2020-02-31>
132. Krzemień, A., Frejowski, A., Fidalgo Valverde, G., Riesgo Fernández, P., & Garcia-Cortes, S.

- (2023). Repurposing End-of-Life Coal Mines with Business Models Based on Renewable Energy and Circular Economy Technologies. *Energies*, 16(22), 7617.
133. Krzemień, S. (1991). *Systemowo-informacyjne modele oceny stanu zagrożenia wstrząsami górnictwymi w kopalniach węgla kamiennego*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, zeszyt 198.
134. Kulpa, J., Kamiński, P., Stecuła, K., Prostański, D., Matusiak, P., Kowol, D., Kopacz, M., i Olczak, P. (2021). Technical and economic aspects of electric energy storage in a mine shaft—Budryk case study. *Energies*, 14(21). <https://doi.org/10.3390/en14217337>
135. Ladányi, G. (2018). Condition monitoring experiences of machines in Hungarian Márkushegy underground mine. *Mining - Informatics, Automation and Electrical Engineering*, 4 (534)(1), 49. <https://doi.org/10.7494/miag.2018.2.534.49>
136. Langer, P. (2019). „Post mining reality” in Western Europe: Selected Collieries in Belgium and France Following Discontinuation of Coal Mining. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471(11). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/11/112003>
137. Lau, H. C., Ramakrishna, S., Zhang, K., i Radhamani, A. V. (2021). The role of carbon capture and storage in the energy transition. *Energy and Fuels*, 35(9), 7364–7386. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.1c00032>
138. Lepszy, S. (2020). Analysis of the storage capacity and charging and discharging power in energy storage systems based on historical data on the day-ahead energy market in Poland. *Energy*, 213, 118815. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118815>
139. Litwa, P. (2022). Kształtowanie się zagrożenia metanowego w polskich kopalniach węgla kamiennego w latach 2011-2020. *Metan z kopalń – uwarunkowania prawne, monitoring, wychwytywanie i utylizacja (w ramach XXXI Szkoły Eksploatacji Podziemnej)*.
140. Liu, Z., i Fan, J. (2014). Technology readiness assessment of Small Modular Reactor (SMR) designs. *Progress in Nuclear Energy*, 70, 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2013.07.005>
141. Madlener, R., i Specht, J. M. (2020). An exploratory economic analysis of underground pumped-storage hydro power plants in abandoned deep coal mines. *Energies*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/en13215634>
142. Mahmoudinezhad, S., Mandø, M., i Arabkoohsar, A. (2023). Design and techno-economic analysis of a molten-salt driven energy conversion system for sustainable process heat supply. *Renewable Energy*, 219(September). <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119510>
143. Malec, M., Kamiński, J., i Warchoń, R. (2014). Przegląd aktualnej struktury wydobywania w krajowym sektorze górnictwa węgla kamiennego. *Zeszyty Naukowe - Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*, 87, 25–36.
144. Marcisz, M. (2017). Stopień zuskokowania złóż węgla kamiennego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi / Mineral Resources Management*, 33(2), 97–112. <https://doi.org/10.1515/gospo-2017-0013>
145. Matos, C. R., Carneiro, J. F., i Silva, P. P. (2019). Overview of Large-Scale Underground Energy Storage Technologies for Integration of Renewable Energies and Criteria for Reservoir Identification. *Journal of Energy Storage*, 21(November 2018), 241–258. <https://doi.org/10.1016/j.est.2018.11.023>
146. Matusiak, P., i Kowol, D. (2016). Zastosowanie osadczarkowego procesu wzbogacania do odfiltracji surowca ze składowiska odpadów górniczych. *Mining Science – Mineral Aggregates*, 23(1), 115–125. <https://doi.org/10.5277/mscma1622311>
147. Matusiak, P., i Kowol, D. (2023). Nowa technologia wytwarzania wodoru i kompozytów geopolimerowych z odpadów pogórnictwa. *Prezentacja podczas konferencji KOMEKO. 2023.*, 27–29.
148. Matyjaszek, M., Fernández, P. R., Krzemień, A., Wodarski, K., & Valverde, G. F. (2019). Forecasting coking coal prices by means of ARIMA models and neural networks, considering the transgenic time series theory. *Resources Policy*, 61, 283-292.
149. Matysik, M. (2014). *Wpływ zrzutów wód kopalnianych na odpływ rzek Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego.
150. Medved, M., Ristic, I., Roser, J., i Vulic, M. (2012). An overview of two years of continuous energy optimization at the Velenje coal mine. *Energies*, 5(6), 2017–2029. <https://doi.org/10.3390/en5062017>
151. Menéndez, J., i Loredó, J. (2019). Use of closed open pit and underground coal mines for energy generation: Application to the Asturias Central Coal Basin (Spain). *E3S Web of Conferences*, 80, 2–6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198001005>
152. Menéndez, J., Ordóñez, A., Álvarez, R., i Loredó, J. (2019). Energy from closed mines: Underground energy storage and geothermal applications. *Renewable and Sustainable Energy*

- Reviews, 108(December 2018), 498–512. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.007>
153. Menéndez, J., Schmidt, F., i Loredó, J. (2020). Comparing Subsurface Energy Storage Systems: Underground Pumped Storage Hydropower, Compressed Air Energy Storage and Suspended Weight Gravity Energy Storage. *E3S Web of Conferences*, 162, 0–3. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016201001>
154. Mojses, M., Petrovič, F., i Bugár, G. (2022). Evaluation of Land-Use Changes as a Result of Underground Coal Mining—A Case Study on the Upper Nitra Basin, West Slovakia. *Water (Switzerland)*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/w14060989>
155. Morstyn, T., Chilcott, M., i McCulloch, M. D. (2019). Gravity energy storage with suspended weights for abandoned mine shafts. *Applied Energy*, 239(June 2018), 201–206. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.226>
156. Müller, K. (2021). Heat pipelines and climate camps: Coal mining's in/visible infrastructure. *Extractive Industries and Society*, 8(3), 100944. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2021.100944>
157. Naworyta, W. (2023). Jeśli nie węgiel to co? Transformacja energetyczna w kontekście rosyjskiej agresji w Ukrainie. *Zeszyty Naukowe - Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*, 1 (111), 95–107.
158. Nazarko, J., Wnorowski, H., i Kononiuk, A. (2020). *Analiza strukturalna czynników rozwoju nanotechnologii w województwie podlaskim*.
159. Nicita, A., Maggio, G., Andaloro, A. P. F., i Squadrito, G. (2020). Green hydrogen as feedstock: Financial analysis of a photovoltaic-powered electrolysis plant. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(20), 11395–11408. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.02.062>
160. *Gospodarowanie zasobami węgla kamiennego w Polsce*, (2014) (testimony of Marek Nieć i Maciej Młynarczyk).
161. Nieć, M., i Salamon, E. (2016). Zmiany zasobów paliw kopalnych (kopalin energetycznych) w Polsce w ostatnim półwieczu. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk*, 96, 201–228.
162. Niedbalska, K., Bukowski, P., i Szczepański, A. (2015). Stan zagrożeń wodnych w kopalniach węgla kamiennego w związku z ich restrukturyzacją (State of water hazard in hard coal mines in connection with their restructuring). *Przegląd Geologiczny*, 63(10), 616–621.
163. Niemann, André; Balmes, Jan Peter; Schreiber, Ulrich; Wagner, Hermann-Josef; Friedrich, T. (2018). Proposed Underground Pumped Hydro Storage Power Plant at Prosper-Haniel Colliery in Bottrop: State of Play and Prospects. W *Mining Report - Glückauf: Fachzeitschrift für Bergbau, Rohstoffe und Energie Jg. 154* (T. 3, Numer 3).
164. Nowak, J., i Frejowski, A. (2007). Mine waste management in Upper Silesian Coal Basin (USCB). *Zapiski Gornowo Instytutu*, 170(2), 218–228.
165. O'Neill, S. (2022). Weights-Based Gravity Energy Storage Looks to Scale Up. *Engineering*, 14, 3–6. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2022.05.007>
166. Nölle, J. (2013). Wykorzystanie obiektów przemysłowych do celów kulturalnych i turystycznych na przykładzie kompleksu przemysłowego Kopalni i Koksowni Zollverein w Essen. In *Kultura i turystyka—miejsca spotkań*, red. B. Krakowiak, A. Stasiak, B. Włodarczyk, ROTWŁ, Łódź 2013; Regionalna Organizacja Turystyczna Województwa Łódzkiego.
167. Oei, P. Y., Brauers, H., i Herpich, P. (2020). Lessons from Germany's hard coal mining phase-out: policies and transition from 1950 to 2018. *Climate Policy*, 20(8), 963–979. <https://doi.org/10.1080/14693062.2019.1688636>
168. Olechowski, A., Eppinger, S. D., i Joglaker, N. (2015). Technology Readiness Levels at 40: A Study of State-of-the-Art Use, Challenges, and Opportunities. *2015 Proceedings of PICMET '15: Management of the Technology Age*, 2084–2094.
169. Omran, A., Khorish, M., i Saleh, M. (2014). Structural Analysis with Knowledge-based MICMAC Approach. *International Journal of Computer Applications*, 86(5), 39–43. <https://doi.org/10.5120/14985-3290>
170. Pactwa, K., Woźniak, J., i Dudek, M. (2020). Coal mining waste in Poland in reference to circular economy principles. *Fuel*, 270(February). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117493>
171. Paszcza, H. (2010). Procesy restrukturyzacyjne w polskim górnictwie węgla kamiennego w aspekcie zrealizowanych przemian i zmiany bazy zasobowej. *Górnictwo i Geoinżynieria*, R. 34, z., 63–82.
172. Paulo, A., i Krzak, M. (2022). Iron and steel complementary raw materials market at the beginning of the 21st century. *Przegląd Geologiczny*, 70(3), 172–179. <https://doi.org/10.7306/2022.9>
173. Probiez, K. (2015). Górnictwo węgla kamiennego w Polsce u progu 2015 roku, szanse i zagrożenia. *Przegląd Górniczy*, 4, 22–37.

174. Probiez, K., i Marcisz, M. (2001). Zmiany zawartości popiołu i siarki w węglach z pokładu 415/2 w cyklu produkcyjnym KWK Szczygłowice. W *Zeszyty Naukowe. Górnictwo. Politechnika Śląska* (ss. 135–145).
175. Prostański, D. (2012). Dust control with use of air-water spraying system. *Archives of Mining Sciences*, 57(4).
176. Prostański, D. (2013). Use of Air-and-Water Spraying Systems for Improving Dust Control in Mines. *Journal of Sustainable Mining*, 12(2), 29–34. <https://doi.org/10.7424/jsm130204>
177. Prostański, D. (2017). Empirical models of zones protecting against coal dust explosion. *Archives of Mining Sciences*.
178. Putra, G. B. B., Sudharma, I. W. P. A., i Rahmadani, D. A. (2020). Key Variables on Property Marketing in Bali: Application of Micmac Method. *Asia Pacific Journal of Management and Education*, 3(1), 28–34. <https://doi.org/10.32535/apjme.v3i1.741>
179. Pyrgaki, K., Gemeni, V., Karkalis, C., Koukouzas, N., Koutsovit, P., i Petrounias, P. (2021). Geochemical occurrence of rare earth elements in mining waste and mine water: A review. *Minerals*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/min11080860>
180. Rabanal, N. G. (2009). Coal restructuring in Spain: Continuity and uncertainty? *Energy Policy*, 37(11), 4373–4378. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.05.052>
181. Radosz, Ł., Chmura, D., Prostański, D., & Woźniak, G. (2023). The Soil Respiration of Coal Mine Heaps' Novel Ecosystems in Relation to Biomass and Biotic Parameters. *Energies*, 16(20), 7083.
182. Ramsebner, J., Haas, R., Ajanovic, A., i Wietschel, M. (2021). The sector coupling concept: A critical review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 10(4). <https://doi.org/10.1002/wene.396>
183. Rey, J., Segura, F., i Andujar, J. M. (2023). Green Hydrogen: Resources Consumption, Technological Maturity, and Regulatory Framework. *Energies*, 16(6222).
184. Rhodes, M. A., i Price, W. R. (2023). "A nation built on coal": transcalar memory work at the Big Pit. *Tourism Geographies*.
185. Riesgo Fernandez, P., Przybyła, H., Chmiela, A., i Kołodziejczyk, P. (2000). Program restrukturyzacji górnictwa węgla w Hiszpanii. *Zeszyty Naukowe. Górnictwo. Politechnika Śląska*, 246, 453–465.
186. Ritchey, T. (2006). Modeling multi-hazard disaster reduction strategies with computer-Aided morphological analysis. *Proceedings of ISCRAM 2006 - 3rd International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management*, May, 339–346.
187. Róžański, Z., Wrona, P., Pach, G., Niewiadomski, A. P., Markowska, M., Wrona, A., Frączek, R., Balcarczyk, L., Quintana, G. V., i de Paz Ruiz, D. (2022). Influence of water erosion on fire hazards in a coal waste dump — A case study. *Science of the Total Environment*, 834(April). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155350>
188. Rozporządzenie/1300/2013. (2013). Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1300/2013 z dnia 17 grudnia 2013 r. w sprawie Funduszu Spójności i uchylające rozporządzenie (WE) nr 1084/2006. W *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej* (T. 347).
189. Rozporządzenie/1301/2013. (2013). Rozporządzenie (UE) nr 1301/2013 z dnia 17 grudnia 2013 r. w sprawie Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego i przepisów szczególnych dotyczących celu „Inwestycje na rzecz wzrostu i zatrudnienia” oraz uchylające rozporządzenie (WE) nr 1080/2006. *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*, 347, 289–302.
190. Rozporządzenie/2020/852. (2020a). *Rozporządzenie (UE) 2020/852 z dnia 18 czerwca 2020 r. w sprawie ustanowienia ram ułatwiających zrównoważone inwestycje i zmieniające rozporządzenie (UE) 2019/2088*. <https://doi.org/10.2874/561427>
191. Rozporządzenie/2020/852. (2020b). Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2020/852 z dnia 18 czerwca 2020 r. w sprawie ustanowienia ram ułatwiających zrównoważone inwestycje, zmieniające rozporządzenie (UE) 2019/2088. *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*, 852(4), 2014.
192. Rozporządzenie/2023/2486. (2023). Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) 2023/2486 z dnia 27 czerwca 2023 r. uzupełniające rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2020/852 w odniesieniu do ustanowienia technicznych kryteriów kwalifikacji dla czterech celów środowiskowych. W *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej* (T. 2486). https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202302486
193. Rozporządzenie Komisji (UE) 2022/2014. (2022). *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*, 188/I, 1–45.
194. Rubio, H. (2023). *Estudio Reométrico (niepublikowane)*.
195. Sadasivam, S., Thomas, H. R., Zagorščak, R., Davies, T., i Price, N. (2019). Baseline

- geochemical study of the Aberpergwm mining site in the South Wales Coalfield. *Journal of Geochemical Exploration*, 202(March), 100–112. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.03.006>
196. Saigustia, C., i Robak, S. (2021). Review of potential energy storage in abandoned mines in poland. *Energies*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/en14196272>
197. Saługa, P. W., Sobczyk, E. J., i Kicki, J. (2015). Wykazywanie zasobów węgla kamiennego w polsce zgodnie z JORC code (Reporting of hard coal reserves and resources in Poland on the basis of the JORC code). *Gospodarka Surowcami Mineralnymi / Mineral Resources Management*, 31(2), 5–30. <https://doi.org/10.1515/gospo-2015-0019>
198. Schaber, K., Steinke, F., i Hamacher, T. (2013). Managing Temporary Oversupply from Renewables Efficiently: Electricity Storage Versus Energy Sector Coupling in Germany. *International Energy Workshop, Paris, 20 June 2013*.
199. Shaw, R. (2002). The international building exhibition (IBA) emscher park, Germany: A model for sustainable restructuring? *European Planning Studies*, 10(1), 77–97. <https://doi.org/10.1080/09654310120099272>
200. Siemieniec, J., Gałęziowski, M., Wodecki, J. (2005). Spółka Restrukturyzacji Kopalń. Katowice SRK.
201. Siostrzonek, T. (2023). The Mine Shaft Energy Storage System—Implementation Threats and Opportunities. *Energies*, 16(15), 5615
202. Singh, A., Kumar, D., i Hötzel, J. (2018). IoT Based information and communication system for enhancing underground mines safety and productivity: Genesis, taxonomy and open issues. *Ad Hoc Networks*, 78, 115–129. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2018.06.008>
203. Singh, N. K., i Mahajan, V. (2021). Analysis and Evaluation of Cyber-attack Impact on Critical Power System Infrastructure. *Smart Science*, 9(1), 1–13. <https://doi.org/10.1080/23080477.2020.1861502>
204. Sinnett, D., i Norman, P. (2023). Changes in unemployment and permanent sickness in England's East Midlands coalfields, 1971–2011. *Regional Studies*, 0(0), 1–17. <https://doi.org/10.1080/00343404.2023.2191642>
205. Sobczyk, E.J., i Nieć, M. (2017). Praktyczne zastosowanie zasad kodeksu JORC na przykładzie polskich złóż węgla kamiennego (Practical application of JORC code - polish bituminous coal deposit case history). *Górnictwo Odkrywkowe*, 4, 61–67.
206. Sobczyk, Eugeniusz J. (2008). Zasoby węgla kamiennego w Polsce a możliwość zaspokojenia potrzeb energetyki. *Polityka Energetyczna*, 11(1), 431–449.
207. Sobczyk, Eugeniusz J., Kicki, J., i Jarosz, J. (2016). Gospodarka zasobami złóż węgla kamiennego w Polsce w latach 1990–2015 (The management of hard coal reserves in Poland in the years 1990–2015). *Zeszyty Naukowe - Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*, 92, 37–56.
208. Solik-Heliasz, E. (2002). Assessment of possibility of heat recovery from waters pumped from hard coal mines (Ocena możliwości odzysku ciepła z wód pompowanych z kopalń węgla kamiennego). *Prace Naukowe GIG Górnictwo i Środowisko*, 2, 17–24.
209. Stec, K., i Lurka, A. (2015). Charakterystyka i sejsmologiczne metody analizy aktywności sejsmicznej GZW. *Przegląd Górniczy*, 71(1), 83–93.
210. Strojny, J., Witkowski, K., i Wąs, S. (2023). Influence of Sustainable Strategic Management on Methane Projects as Exemplified by the Jastrzębska Spółka Węglowa SA Mining Company. *Energies*, 16(9). <https://doi.org/10.3390/en16093680>
211. SWD(2021)198final. (2021). *Performance, monitoring and evaluation of the European Regional Development Fund, the Cohesion Fund and the Just Transition Fund in 2021–2027 (SWD(2021) 198 final)*.
212. Szlązak, N., Borowski, M., & Obracaj, D. (2008). Kierunki zmian w systemach przewietrzania ścian eksploatacyjnych z uwagi na zwalczanie zagrożeń wentylacyjnych. *Gospodarka surowcami mineralnymi*, 24(1/2), 201–214.
213. Szlązak, N., Obracaj, D., Borowski, M., Swolkień, J., & Korzec, M. (2013). Monitoring and controlling methane hazard in excavations in hard coal mines. *AGH Journal of Mining and Geoengineering*, 37(1).
214. Szlązak, N., Obracaj, D., & Borowski, M. (2008). Methods for controlling temperature hazard in Polish coal mines. *Archives of mining sciences*, 53(4), 497–510.
215. Szuflicki, M., Malon, A., i Tymiński, M. (2024). *Bilans zasobów złóż kopalni w Polsce*. Państwowy Instytut Geologiczny - Państwowy Instytut Badawczy.
216. Szymała, J., Sobczak, D., Janson, E., Moszko, J. C., i Konsek, S. (2022). Shaft Liquidation Method Adjusted for High Precipitation Associated with Climate Change Impact Jan Szymała. *Journal of Sustainable Mining*, 21(3). <https://doi.org/10.46873/2300-3960.1360>

217. Tayebi-Khorami, M., Edraki, M., Corder, G., i Golev, A. (2019). Re-thinking mining waste through an integrative approach led by circular economy aspirations. *Minerals*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/min9050286>
218. Tokarz, M., i Mucha, W. (2013). Wykorzystanie energii geotermalnej pochodzącej z odwadniania zakładów górniczych, na przykładzie rozwiązań zastosowanych w SRK SA Zakładzie CZOK w Czeladzi. *Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój*, 1, 103–114.
219. Tomescu, C., Cioclea, D., Boanta, C., i Morar, M. (2022). Restructuring of coal mining in Romania between the climate crisis and the energy transition. *MATEC Web of Conferences*, 354, 00022. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202235400022>
220. Tresnjo, Z., Adrovic, J., i Hankic, E. (2017). Levels of Radon Activity Concentration and Gamma Dose Rate in Air of Coal Mines in Bosnia and Herzegovina. W F. Adrovic (Red.), *Radon* (ss. 59–78). InTech.
221. Trinasolar. (2023). *Trina Solar and GP JOULE celebrate completion of 170MW Klettwitz Solar Park in Brandenburg, Germany*.
222. Turek, M. (2003). *Zmiany struktur kopalń i wskaźników techniczno-ekonomicznych w procesie restrukturyzacji górnictwa węgla kamiennego*. Główny Instytut Górnictwa.
223. van de Loo, K., i Sitte, A.-P. (2015). The german coal situation 2014 (Steinkohle in Deutschland 2014). *Mining Report*, 151(2), 158–169.
224. Villacorta, P. J., Masegosa, A. D., Castellanos, D., i Lamata, M. T. (2012). A Linguistic Approach to Structural Analysis in Prospective Studies. *Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems*, 150–159.
225. Waddington, D., i Parry, D. (2003). Managing industrial decline: The lessons of a decade of research on industrial contraction and regeneration in Britain and other EU coal producing countries. *Institution of Mining and Metallurgy. Transactions. Section A: Mining Technology*, 112(1). <https://doi.org/10.1179/037178403225011042>
226. Walls, D. B., Banks, D., Boyce, A. J., i Burnside, N. M. (2021). A Review of the Performance of Minewater Heating and Cooling Systems. *Energies*, 14(6215), 1–33.
227. Watson, S. M., Westaway, R., i Burnside, N. M. (2019). Digging deeper: The influence of historical mining on Glasgow's subsurface thermal state to inform geothermal research. *Scottish Journal of Geology*, 55(2), 107–123. <https://doi.org/10.1144/sjg2019-012>
228. Wei, Z., Xu, D., Wang, Z., i Song, G. (2017). Coal Mine Based Circular Economy Park: A Case Study. *Geo-Resources Environment and Engineering*, 2, 6–11. <https://doi.org/10.15273/gree.2017.02.002>
229. Więckol-Ryk, A., i Trojnar, A. (2015). Wpływ profilaktyki zagrożenia wybuchem pyłu węglowego na koszt wydobywania węgla w kopalniach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Wiadomości Górnicze*, 66(3), 133–144.
230. Witthaus, H., i Melchers, C. (2019). Mine Water Monitoring in Abandoned Mines at RAG Aktiengesellschaft. *IMWA 2019 "Mine Water: Technological and Ecological Challenges"*, 59–67.
231. Wodarski, K. (2014). *Możliwości techniczne projektowania eksploatacji resztkowych złóż węgla kamiennego w kopalniach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Difin.
232. Wodarski, K., Bijańska, J., & Gumiński, A. (2017). The method of validity evaluation of hard coal excavation in residual seam parts. *Archives of Mining Sciences*, 62(4).
233. Wolkersdorfer, C., Walter, S., i Mugova, E. (2022). Perceptions on mine water and mine flooding – An example from abandoned West German hard coal mining regions. *Resources Policy*, 79(July), 103035. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103035>
234. WUG. (2005). *Stan bezpieczeństwa i higieny pracy w górnictwie w 2004 roku*.
235. WUG. (2024). *Ocena stanu bezpieczeństwa pracy, ratownictwa górniczego oraz bezpieczeństwa powszechnego w związku z działalnością górnictwo-geologiczną w 2022 roku (porównanie od roku 2018)*.
236. Yang, Y., Bremner, S., Menictas, C., i Kay, M. (2018). Battery energy storage system size determination in renewable energy systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91(March), 109–125. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.047>
237. Younger, P. L. (2015). Geothermal energy: Delivering on the global potential. *Energies*, 8(10), 11737–11754. <https://doi.org/10.3390/en81011737>
238. Zeqiri, K., Dogan, T., Möllerherm, S., & Kasmaeeyazdi, S. (2024). Examining Sustainable Transition and Post-Mining Management in the Ruhr Region and the Prospective Evaluation of Knowledge Transfer to Kosovo's Mining Sector. *Mining*, 4(3), 613–628.
239. Zhang, C., Wei, Y. L., Cao, P. F., i Lin, M. C. (2018). Energy storage system: Current studies on

- batteries and power condition system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(November 2017), 3091–3106. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.030>
240. Zorychta, A., i Burtan, Z. (2008). Uwarunkowania i kierunki rozwoju technologii podziemnej eksploatacji złóż w polskim górnictwie węgla kamiennego. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 24(1, 2), 53–70.
241. Zwahlen, C., Rehn, A., Aiglsperger, T., i Dold, B. (2023). Geochemical and mineralogical aspects of acid mine drainage associated with 100 years of coal mining in the arctic, Svalbard (78°N). *Journal of Geochemical Exploration*, 252(January), 107266. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2023.107266>

Aneksy

Aneks nr 1. Harmonogram działań związanych z restrukturyzacją górnictwa węglowego w latach 1987–2024

Rok	Akt prawny	Premier rządu	Główne założenia programu	Efekty	Kopalnie/ruchy zamknięte	
1987	Ustawa z dnia 23 października 1987 r. o utworzeniu Wspólnoty Węgla Kamiennego. (Dz. U. Nr 33, poz. 183 z 1987)	Zbigniew Messner	Oddzielenie przemysłu wydobywczego węgla kamiennego od energetyki	Powołanie pięciu Przedsiębiorstw Eksploatacji Węgla. Oddzielenie przemysłu węglowego i energetycznego - zniesiono urząd Ministerstwa Górnictwa i Energetyki powołano urząd Ministerstwa Przemysłu	Brak	0
1988		Zbigniew Messner, Mieczysław Rakowski				
1989	Początek transformacji górnictwa węglowego - przejście z gospodarki centralnie zarządzanej na wolnorynkową	Mieczysław Rakowski, Czesław Kiszczak, Tadeusz Mazowiecki		Likwidacja Przedsiębiorstw Eksploatacji Węgla		
1990	Ustawa z dnia 24 II 1990 r. o likwidacji Wspólnoty Węgla Kamiennego (Dz. U. Nr 14, poz. 89 z 1990 r.)	Tadeusz Mazowiecki		Likwidacja Wspólnoty Węgla Kamiennego		
	Powstanie Państwowej Agencji Węgla Kamiennego SA (12.07.1990 r.)			Powołanie Państwowej Agencji Węgla Kamiennego w celu zarządzania przemysłem węglowym		
1991		Tadeusz Mazowiecki, Jan Krzysztof Bielecki, Jan Olszewski				
1992	Traktat z Maastricht (podpisany 07.02.1992 r., wszedł w życie 01.10.1993 r.)	Jan Olszewski, Waldemar Pawlak, Hanna Suchocka		Przekształcenie EWG w UE12. Decyzja Komisji nr 3632/93/ECSC z dnia 28 grudnia 1993 r. ustanawiająca wspólnotowe zasady pomocy państwa dla przemysłu węglowego. Decyzja Komisji nr 341/94/ECSC z dnia 8 lutego 1994 r. wykonująca decyzję nr 3632/93/ECSC ustanawiającą wspólnotowe reguły pomocy państwa dla przemysłu węglowego		
1993	Ustawa z dnia 5 lutego 1993 r. o przekształceniach własnościowych niektórych przedsiębiorstw państwowych o szczególnym znaczeniu dla gospodarki państwa (Dz. U. Nr 16, poz. 69 z 1993 r.)	Hanna Suchocka, Waldemar Pawlak	Poprawa wyników finansowych w przemyśle; wdrożenie procedur i uzgodnień ugodowych mających na celu redukcję zadłużenia budżetu państwa i banków; przygotowanie długofalowych działań osłonowych dla zwalnianych pracowników	Powołanie spółek węglowych - jednoosobowych spółek Skarbu Państwa	KWK Barbara-Chorzów	1
	Program rządowy Program restrukturyzacji górnictwa węgla kamiennego w Polsce - realizacja pierwszego etapu w ramach zadań własnych państwa (15.03.1993).			Od lipca 1993 r. do grudnia 1993 r. realizacja programu wstrzymania upadłości górnictwa węgla kamiennego.		
1994	Wniosek Polski o członkostwo w UE	Waldemar Pawlak		Wycofanie dotacji dla górnictwa węglowego w zamian za wsparcie finansowe państwa w procesie likwidacji nieefektywnych kopalń; osiągnięcie i utrzymanie efektywności poprzez konsolidację branży; ustabilizowanie eksportu na poziomie 20 mln ton rocznie		ZG Victoria
	Program rządowy Górniczy program restrukturyzacyjny dla realizacji drugiego etapu w latach 1994–1995 (18.02.1994 r.)		Wstrzymanie programu w połowie 1995 r.			
1995		Waldemar Pawlak, Józef Oleksy		Zmniejszenie liczby górników z około 410 000 (1989 r.) do 268 000 (1995 r.)	KWK Paryż, KWK Saturn	2

Rok	Akt prawny	Premier rządu	Główne założenia programu	Efekty	Kopalnie/ruchy zamknięte	
1996	Program rządowy Górnictwo węgla kamiennego, polityka państwa i sektora w latach 1996–2000	Józef Oleksy, Włodzimierz Cimoszewicz	Restrukturyzacja techniczna; zamknięcie 20 nieefektywnych kopalń; redukcja zatrudnienia o 30%; zmniejszenie produkcji	Wstrzymanie programu w 1997 r.	KWK Centrum-Szombierki Ruch Szombierki, KWK Żory, ZG Julia	3
	Rozpoczyna działalność Urząd Komitetu Integracji Europejskiej					
1997	Ustawa z dnia 27 sierpnia 1997 r. o restrukturyzacji finansowej jednostek górnictwa węgla kamiennego oraz o wprowadzeniu opłaty węglowej (Dz. U. Nr 113 poz. 735 z 1997 r. ze zm. Dz. U. Nr 160 poz. 1081 z 1997 r.).	Włodzimierz Cimoszewicz, Jerzy Buzek	Regulowała zasady restrukturyzacji finansowej przedsiębiorstw górniczych oraz wprowadzała opłatę węglową		KWK Sosnowiec	1
1998	Program rządowy Reforma górnictwa węgla kamiennego w Polsce w latach 1998-2002 (30.06.1998)	Jerzy Buzek	Dostosowanie zatrudnienia do zakładanego i koniecznego ograniczenia produkcji wynikającego z dostrzeganego spadku popytu na węgiel	Zatrudnienie zmniejszyło się do 140 700 osób, co oznacza, że w pięcioletnim okresie realizacji programu redukcja zatrudnienia wyniosła ponad 102,5 tys. osób, w tym 67 tys. z Górniczego Pakietu Socjalnego, tj. 42,2% zatrudnienia wg stanu na 1.01.1998 r.	KWK Grodziec, KWK Morcinek, KWK Porąbka-Klimontów, WKWK (ZG Chrobry)	4
	Ustawa z dnia 26 listopada 1998 r. o dostosowaniu górnictwa węgla kamiennego do funkcjonowania w warunkach gospodarki rynkowej oraz szczególnych uprawnieniach i zadaniach gmin górniczych (Dz. U. Nr 162 poz. 1112 z 1998 r.)		Ustawa miała na celu wprowadzenie zasad rynkowych do funkcjonowania górnictwa węgla kamiennego, w tym ograniczenie nadmiernej produkcji oraz poprawę efektywności ekonomicznej. Gminy górnicze otrzymały szczególne uprawnienia i wsparcie finansowe na realizację projektów infrastrukturalnych i społecznych, co miało złagodzić skutki restrukturyzacji	Ustawa z 1998 roku przyspieszyła restrukturyzację sektora górnictwa węgla kamiennego, co pozwoliło na ograniczenie strat finansowych oraz lepsze dostosowanie do gospodarki rynkowej. Jednocześnie wiązała się z dużymi kosztami społecznymi, w tym protestami i wzrostem bezrobocia w regionach górniczych.		
1999					KWK Katowice-Kleofas Ruch Katowice, KWK Niwka-Modrzejów, KWK Chwałowice Ruch Rymer, KWK Polska-Wirek Ruch Polska, KWK Siemianowice (ZG Rozalia), KWK Siersza, KWK Gliwice. KWK Bobrek-Miechowice Ruch Miechowice	8
2000					KWK Pokój Ruch Wawel, ZG Wojkowice, KWK Pstrowski (Jadwiga), KWK Dębieńsko, KWK JAS-MOS Ruch Moszczenica, KWK Jan Kanty, KWK Nowa Ruda	7
2001	Ustawa z dnia 15 grudnia 2000 r. o zmianie ustawy o dostosowaniu górnictwa węgla kamiennego do funkcjonowania w warunkach gospodarki rynkowej oraz szczególnych uprawnieniach i zadaniach gmin górniczych. (Dz. U. Nr 5 poz. 41 z 2001. r ze zm. Dz. U. Nr 154 poz. 1802 z 2001 r., Dz. U. Nr 238 poz. 2020 z 2002 r.)	Jerzy Buzek, Leszek Miller	Ustawa z dnia 15 grudnia 2000 r. o zmianie ustawy o dostosowaniu górnictwa węgla kamiennego do funkcjonowania w warunkach gospodarki rynkowej oraz szczególnych uprawnieniach i zadaniach gmin górniczych była kolejnym etapem działań mających na celu usprawnienie restrukturyzacji sektora górniczego oraz poprawę sytuacji gmin górniczych. Nowelizacja wprowadzała zmiany, które dostosowywały przepisy do bieżących wyzwań oraz uzupełniały wcześniejsze regulacje		KWK Marcel Ruch 1 Maja, KWK Powstańców Śląskich (ZG Bytom I)	2

Rok	Akt prawny	Premier rządu	Główne założenia programu	Efekty	Kopalnie/ruchy zamknięte	
2002	Program Restrukturyzacji Górnictwa Węgla Kamiennego w Polsce w latach 2003–2006 z wykorzystaniem ustaw antykryzysowych i rozpoczęciem prywatyzacji niektórych kopalń (28.11.2002 r.)	Leszek Miller		Zmniejszenie liczby górników do 140 000 (2002 r.)	Brak	0
2003	"Program restrukturyzacji górnictwa węgla kamiennego w Polsce w latach 2003–2006 z wykorzystaniem ustaw antykryzysowych i zainicjowaniem prywatyzacji niektórych kopalń" (28.01.2003 r.). Ustawa z dnia 28 listopada 2003 r. o restrukturyzacji górnictwa węgla kamiennego w latach 2003-2006 (Dz. U. Nr 210 poz. 2037 z 2013 r.)		Redukcja zadłużenia, restrukturyzacja finansowa zobowiązań publicznoprawnych; dokapitalizowanie; dalsza restrukturyzacja zatrudnienia	1 lutego 2003 r. na bazie 5 spółek węglowych: Nadwiślańskiej, Gliwickiej, Rudzkiej, Rybnickiej i Bytomskiej (23 kopalnie) powstała Kompania Węglowa SA		
2004	Program restrukturyzacji górnictwa węgla kamiennego w latach 2004–2006 oraz strategia na lata 2007–2010 (27.04.2004 r.)		Program zakładał dalszą integrację spółek węglowych w celu zwiększenia efektywności zarządzania i poprawy wyników finansowych. Powstanie dużych podmiotów gospodarczych, zdolnych do konkurowania na rynku krajowym i międzynarodowym. Ograniczenie zdolności wydobywczych poprzez likwidację nierentownych kopalń.		KWK Katowice-Kleofas Ruch Kleofas, KWK Rozbark (ZG Bytom II)	2
	Plan dotyczący dostępu do węgla kamiennego w latach 2004–2006 oraz plan zamknięcia kopalni w latach 2004–2007					
	(01.05.2004) Członkostwo Polski w UE					
2005		Leszek Miller, Marek Belka, Kazimierz Marcinkiewicz		Powołanie do życia Południowego Koncernu Węglowego	KWK Piast Ruch II (Czechott)	1
2006		Kazimierz Marcinkiewicz, Jarosław Kaczyński		Zmniejszenie liczby górników do 119 000 (2006 r.)	Brak	0
2007	Strategia działalności górnictwa węgla kamiennego w Polsce w latach 2007–2015 (lipiec 2007)	Jarosław Kaczyński, Donald Tusk	Zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego kraju poprzez zaspokojenie krajowego zapotrzebowania na węgiel kamienny, w tym wykorzystanie węgla kamiennego do produkcji paliw płynnych i gazowych; utrzymanie konkurencyjności polskiego węgla kamiennego w gospodarce wolnorynkowej; zapewnienie stabilnych dostaw węgla o wymaganej jakości dla odbiorców krajowych i zagranicznych; stosowanie nowoczesnych technologii w górnictwie węgla kamiennego w celu zwiększenia konkurencyjności cenowej, bezpieczeństwa i ochrony środowiska oraz stworzenie podstaw do rozwoju naukowo-technicznego, szczególnie na Śląsku i w Małopolsce			
	Ustawa z dnia 7 września 2007 r. o funkcjonowaniu górnictwa węgla kamiennego w latach 2008-2015 (Dz. U. Nr 192, poz. 1379)					
2008	Europejski plan dotyczący zmian klimatycznych (grudzień 2008 r.)	Donald Tusk				
2009						
2010						

Rok	Akt prawny	Premier rządu	Główne założenia programu	Efekty	Kopalnie/ruchy zamknięte	
2011	Program działalności górnictwa węgla kamiennego w Polsce w latach 2007-2015, z listopada 2011 r. (znowelizowana i zaktualizowana Strategia z 2007 r.)		Wprowadzenie rozwiązań zgodnych z regulacjami UE dotyczącymi ochrony środowiska i pomocy publicznej. Ograniczenie subsydiów państwowych oraz wsparcie finansowe wyłącznie dla działań restrukturyzacyjnych	Jastrzębska Spółka Węglowa S.A. (JSW) weszła na giełdę papierów wartościowych 6 lipca 2011 roku		0
2012						
2013						
2014	Ustawa z dnia 11 lipca 2014 r. o zmianie ustawy o funkcjonowaniu górnictwa węgla kamiennego w latach 2008–2015 (Dz. U. poz. 1069 z 2014 r.)	Donald Tusk, Ewa Kopacz	Ustawa pozwalała na kontynuację działań restrukturyzacyjnych zapoczątkowanych w ramach ustawy o funkcjonowaniu górnictwa w latach 2008–2015, wydłużając okres realizacji kluczowych programów restrukturyzacyjnych	Tauron Wydobycie utworzony na bazie Południowego Koncernu Węglowego S.A.	KWK Halemba-Wirek Ruch Wirek	1
2015		Ewa Kopacz, Beata Szydło		Utworzono Węglokoks Kraj	KWK Kazimierz-Juliusz, KWK Mysłowice-Wesoła Ruch Mysłowice, KWK Murcki-Staszic Ruch Murcki, KWK Bobrek-Centrum Ruch Centrum	4
2016		Beata Szydło			Brak	0
2017		Beata Szydło, Mateusz Morawiecki		Utworzenie Polskiej Grupy Węglowej na bazie Kompanii Węglowej (01.07.2016 r.)	KWK Rydułtowy-Anna Ruch Anna, KWK Makoszowy	2
				Przyłączenie Katowickiego Holdingu Węglowego do Polskiej Grupy Węglowej	KWK Krupiński	1
2018	Program dla sektora górnictwa węgla kamiennego w Polsce (23.01.2018 r.)	Mateusz Morawiecki	Zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego Polski: górnictwo węgla kamiennego nadal miało odgrywać kluczową rolę w dostarczaniu surowca dla energetyki krajowej, szczególnie dla produkcji energii elektrycznej i ciepła		KWK Wujek Ruch Śląsk, KWK Wieczorek	2
2019					Brak	0
2020			Długoterminowa i stopniowa likwidacja przemysłu wydobywczego węgla kamiennego do 2049 r.		KWK Bobrek-Piekary Ruch Piekary (ZG Brzeziny i ZG Piekary)	2
2021	Umowa społeczna dla górnictwa (28.05.2021 r.)				KWK Jastrzębie-Bzie Ruch Jastrzębie III	1
2022		Mateusz Morawiecki, Donald Tusk		Liczba górników 76 100 (2023)	KWK Ruda Ruch Pokój	1
2023					Brak	0
2024					Donald Tusk	Brak

Aneks nr 2. Kopalnie węgla kamiennego w Polsce w latach 1989–2024 na tle zmian organizacyjnych

Nr	Kopalnie w latach 1989–1992	Spółki/kopalnie po reformie w 1993 r.	Główne wydarzenia w latach 1993–2002	Spółki/kopalnie po reformie 2003 r.	Główne wydarzenia w latach 2003–2015	Spółki/kopalnie po reformie 2016 r.	Główne wydarzenia w latach 2016–2024	Kopalnie w 2024 r.
1	KWK Kazimierz-Juliusz	Katowicki Holding Węglowy	Czynna kopalnia	Katowicki Holding Węglowy	Zamknięta w 2015 r.	Zamknięta		KWK Kazimierz-Juliusz
2	KWK Kleofas		Od 1996 r. jako dwuruchowa KWK Katowice-Kleofas; Ruch Katowice zamknięty w 1999 r.		Zamknięta w 2004 r.			KWK Katowice-Kleofas Ruch Kleofas
3	KWK Katowice			Zamknięta	KWK Katowice-Kleofas Ruch Katowice			
4	KWK Niwka-Modrzejów		Zamknięta w 1999 r.		KWK Niwka-Modrzejów			
5	KWK Mysłowice		Czynna kopalnia	Katowicki Holding Węglowy	Od 2007 r. dwuruchowa KWK Mysłowice-Wesoła; Ruch Mysłowice zamknięty w 2015 r.	Katowicki Holding Węglowy w latach 2016–2017, od 2017 r. w Polskiej Grupie Górniczej	Czynna kopalnia	KWK Mysłowice-Wesoła Ruch Mysłowice
6	KWK Wesoła		Czynna kopalnia				PGG SA KWK Mysłowice-Wesoła	
7	KWK Wieczorek		Czynna kopalnia		Czynna kopalnia	Zamknięta w 2018 r.	KWK Wieczorek	
8	KWK Murcki		Czynna kopalnia		Od 2010 r. dwuruchowa KWK Murcki-Staszic,	Ruch Murcki zamknięty w styczniu 2021 r.		KWK Murcki-Staszic Ruch Murcki
9	KWK Staszic		Czynna kopalnia			Katowicki Holding Węglowy w latach 2016–2017, od 2017 r. w Polskiej Grupie Górniczej	Od 2021 r. jako dwuruchowa KWK Staszic-Wujek	PGG SA KWK Staszic-Wujek Ruch Murcki-Staszic
10	KWK Wujek		Czynna kopalnia		Od 2005 r. dwuruchowa KWK Wujek			PGG SA KWK Staszic-Wujek Ruch Wujek
11	KWK Śląsk		Czynna kopalnia				Ruch Śląsk zamknięty w 2018 r.	KWK Wujek Ruch Śląsk
12	KWK Rymer	Rybnicka Spółka Węglowa	Od 1995 r. jako dwuruchowa KWK Chwałowice; Ruch Rymer zamknięty w 1999 r.	Zamknięta				KWK Chwałowice Ruch Rymer
13	KWK Chwałowice			Kompania Węglowa	Czynna kopalnia	Polska Grupa Górnicza	Od 2016 r. jako jeden z ruchów KWK ROW	PGG SA KWK ROW Ruch Chwałowice
14	KWK 1 Maja		Od 1995 r. jako dwuruchowa KWK Marcel; Ruch 1 Maja zamknięty w 2001 r.	Zamknięta				KWK Marcel Ruch 1 Maja
15	KWK Marcel			Kompania Węglowa	Czynna kopalnia	Polska Grupa Górnicza	Od 2016 r. jako jeden z ruchów KWK ROW	PGG SA KWK ROW Ruch Marcel
16	KWK Jankowice		Czynna kopalnia		Od 2016 r. jako jeden z ruchów KWK ROW		PGG SA KWK ROW Ruch Jankowice	
17	KWK Rydułtowy		Czynna kopalnia		Od 2016 r. jako jeden z ruchów KWK ROW, część ruchu przekazana do SRK w 2021		PGG SA KWK ROW Ruch Rydułtowy	
18	KWK Anna		Czynna kopalnia			Od 2004 jako dwuruchowa KWK Rydułtowy-Anna; Ruch II (Anna) zamknięty w 2016 r.	Zamknięta	

Nr	Kopalnie w latach 1989–1992	Spółki/kopalnie po reformie w 1993 r.	Główne wydarzenia w latach 1993–2002	Spółki/kopalnie po reformie 2003 r.	Główne wydarzenia w latach 2003–2015	Spółki/kopalnie po reformie 2016 r.	Główne wydarzenia w latach 2016–2024	Kopalnie w 2024 r.		
19	KWK Barbara-Chorzów	Rudzka Spółka Węglowa	Zamknięta w 1993 r.	Zamknięta				KWK Barbara - Chorzów		
20	KWK Polska		Od 1995 r. jako dwuruchowa KWK Polska-Wirek; Ruch Polska zamknięty w 1999 r.					Zamknięta		
21	KWK Nowy Wirek			Kompania Węglowa	Od 2007 r. jako dwuruchowa KWK Halemba-Wirek; Ruch Wirek zamknięty w 2014 r.	Polska Grupa Górnicza	Od 2016 r. jako jeden z ruchów KWK Ruda			
22	KWK Halemba		Czynna kopalnia					Od 2016 r. jako jeden z ruchów KWK Ruda Halemba		
23	KWK Zabrze-Bielszowice		Od 1997 r. jako KWK Bielszowice (likwidacja Ruchu Zabrze)					Czynna kopalnia	Od 2016 r. jako jeden z ruchów KWK Ruda Bielszowice	
24	KWK Pokój		Od 1995 r. jako dwuruchowa KWK Wawel; Ruch Wawel zamknięty w 2000 r.	Czynna kopalnia	Od 2016 r. jako jeden z ruchów KWK Ruda, w 2022 r. przekazany do SRK SA	KWK Ruda Ruch Pokój				
25	KWK Wawel			Zamknięta				KWK Pokój Ruch Wawel		
26	KWK Siemianowice							Od 1995 r. ZG Rozalia, zamknięty w 1999	ZG Rozalia	
27	KWK Siersza	Zamknięta w 1999 r.	Zamknięta					KWK Siersza		
28	KWK Cieczott	Od 2000 r. jako dwuruchowy KWK Piast					Kompania Węglowa	Zamknięta w 2005 r.	Zamknięta	KWK Piast Ruch II (Cieczott)
29	KWK Piast							Czynna kopalnia		Polska Grupa Górnicza
30	KWK Ziemowit	Czynna kopalnia	Czynna kopalnia	Od 2016 r. jako ruch KWK Piast-Ziemowit	PGG SA KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit					
31	KWK Silesia	Nadwiślańska Spółka Węglowa	Czynna kopalnia	W latach 2005–2010 dwuruchowa KWK Brzeszcze-Silesia; od 2010 r. Ruch Silesia jako prywatna PG Silesia	Energetický a průmyslový holding (Czech Republic)	Od 2021 r. w skład Bumech SA	PG Silesia (prywatna)			
32	KWK Brzeszcze		Czynna kopalnia		W lath 2003–2015 w KW SA, a w 2015–2016 w SRK SA	Tauron Wydobycie	Od 2016 r. w Tauron Wydobycie jako ZG Brzeszcze	PKW SA ZG Brzeszcze		
33	KWK Jaworzno		1989 r. - kopalnia trzyruchowa. 1994 r. - likwidacja Ruchu II, 1997–1998 częściowa likwidacja Ruchu I, od 1999 r. ZGE Sobieski-Jaworzno III w ramach PKE SA	Od 2005 r. PKW SA, od 2014 r. Tauron Wydobycie SA	Od 2005 r. ZG Sobieski		Czynna kopalnia	PKW SA ZG Sobieski		
34	KWK Janina		1993 r. - kopalnia dwuruchowa.	Do 2004 r. KW SA, 2004 r. PKE SA, od 2005 r. PKW SA, od 2014 Tauron Wydobycie SA	2003 r. - zamknięcie Ruchu II, 2004 r. ZGE Janina, od 2005 r. ZG Janina		Czynna kopalnia	PKW SA ZG Janina		

35	KWK Paryż	Bytomska Spółka Węglowa	Zamknięta w 1995 r.	Zamknięta			KWK Paryż	
36	KWK Grodziec		Zamknięta w 1998 r.				KWK Grodziec	
37	KWK Jowisz		Od 1998 r. ZG Wojkowice, zamknięta w 2000 r.				ZG Wojkowice	
38	KWK Rozbark		Od 1999 r. ZG Bytom II	Kompania Węglowa	Zamknięty w 2004	Zamknięty	ZG Bytom II	
39	KWK Szombierki		Od 1993 r. jako dwuruchowa KWK Centrum-Szombierki; Ruch Szombierki zamknięty w 1996 r., od 1999 r. ZG Centrum	Zamknięta			KWK Centrum-Szombierki Ruch Szombierki	
40	KWK Centrum			Kompania Węglowa	Od 2005 r. jako dwuruchowa KWK Bobrek-Centrum, od 2015 r. Ruch Bobrek w Węglokoks Kraj jako KWK Bobrek-Piekary Ruch Bobrek, Ruch Centrum zamknięty w 2015 r.	Zamknięty		KWK Bobrek-Centrum Ruch Centrum
41	KWK Miechowice					Zamknięty		KWK Miechowice
42	KWK Bobrek		Węglokoks Kraj			Planowane zamknięcie w roku 2025 r.	Węglokoks Kraj SA KWK Bobrek-Piekary Ruch Bobrek	
43	KWK Andaluzja			Od 1999 r. jako ZG Brzeziny	Zamknięty w 2020 r.		KWK Bobrek-Piekary Ruch Piekary	
44	KWK Julian							Od 1999 r. ZG Piekary
45	KWK Pstrowski	Od 1996 r.ZG Jadwiga, zamknięta w 2000 r.; od 2001 r. prywatny ZG Siltech	ZG Siltech	Czynna kopalnia	ZG Siltech	Czynna kopalnia (prywatna)	ZG Siltech (prywatna)	
46	KWK Powstańców Śląskich	Od 1999 r. ZG Bytom I, zamknięty w 2001 r.	Zamknięty w latach 2001–2011, od 2011 r. prywatny ZG EKO-PLUS		ZG Eko-Plus	Czynna kopalnia (prywatna)	ZG EKO-PLUS (prywatna)	

48	KWK Dębieńsko		Zamknięta w 2000 r.	Zamknięta				KWK Dębieńsko	
49	KWK Gliwice		Zamknięta w 1999 r.					KWK Gliwice	
50	KWK Makoszowy		Czynna kopalnia	Kompania Węglowa	W latach 2005–2015 jako dwuruchowa KWK Sośnica-Makoszowy	Polska Grupa Górnicza	Zamknięta w 2016 r.	KWK Makoszowy	
51	KWK Sośnica		Czynna kopalnia				Czynna kopalnia	PGG SA KWK Sośnica	
52	KWK Knurów		Czynna kopalnia	W KW SA do 2014 r., od 2014 r w JSW SA	Od 2009 r. dwuruchowa KWK Knurów-Szczygłowie	JSA SA	Czynna kopalnia	JSW SA KWK Knurów-Szczygłowie Ruch Knurów	
53	KWK Szczygłowie		Czynna kopalnia					JSW SA KWK Knurów-Szczygłowie Ruch Szczygłowie	
54	KWK Bzie-Dębina						Od 2019 r. KWK Bzie-Dębina w budowie, od 2020 r. KWK Jastrzębie-Bzie, od 2023 r. KWK Borynia-Zofiówka-Bzie Ruch Bzie	JSW SA KWK Borynia-Zofiówka-Bzie Ruch Bzie	
55	KWK Zofiówka	Czynna kopalnia	Jastrzębska Spółka Węglowa	Od 2011 r. dwuruchowa KWK Borynia-Zofiówka, od 2013 r. trzyruchowa KWK Borynia-Zofiówka-Jastrzębie	Od 2020 r. dwuruchowa KWK Borynia-Zofiówka		Czynna kopalnia	JSW SA KWK Borynia-Zofiówka Ruch Zofiówka	
56	KWK Borynia	Czynna kopalnia						JSW SA KWK Borynia-Zofiówka Ruch Borynia	
57	KWK Jastrzębie	Od 1995 r. jako dwuruchowa KWK JAS-MOS; Ruch Moszczenica zamknięty w 2000 r.					Zamknięta	Czynna kopalnia	Zamknięta w 2017 r.
58	KWK Moszczenica					KWK JAS-MOS Ruch Moszczenica			
59	KWK Pniówek	Jastrzębska Spółka Węglowa	Czynna kopalnia	Jastrzębska Spółka Węglowa	Czynna kopalnia	JSA SA	Czynna kopalnia	JSW SA KWK Pniówek	
60	KWK Krupiński		Czynna kopalnia				Czynna kopalnia		
61	KWK Morcinek		Zamknięta w 1998 r.	Zamknięta				KWK Morcinek	
62	KWK Budryk		Do 1995 r. w budowie, eksploatacja od 1994 r.	Od 2008 r. w JSW SA	Czynna kopalnia	JSA SA	Czynna kopalnia	JSW SA KWK Budryk	

63	KWK Jan Kanty	Kopalnie państwowe, 1-osobowe spółki Skarbu Państwa	Zamknięta w 2000 r.	Zamknięta	KWK Jan Kanty
64	KWK Porąbka-Klimontów		Zamknięta w 1998 r.		KWK Porąbka-Klimontów
65	KWK Saturn		Zamknięta w 1995 r.		KWK Saturn
66	KWK Sosnowiec		Zamknięta w 1997 r.		KWK Sosnowiec
67	KWK Żory		Zamknięta w 1996 r.		KWK Żory
68	KWK Wałbrzych		Od 1993 r. trzyruchowe WKWK, jako ZG Chrobry, zamknięty w 1994 r., 1994–1998 ZWPA, zamknięty w 1998 r.		ZG Chrobry
69	KWK Victoria		Od 1993 r. trzyruchowe WKWK, jako ZG Victoria, zamknięty w 1994 r., 1994–1998 ZWPA, zamknięty w 1998 r.		ZG Victoria
70	KWK Thorez		Od 1993 r. trzyruchowe WKWK, jako ZG Julia, zamknięty w 1996 r.		ZG Julia
71	KWK Nowa Ruda		Zamknięta w 2000 r.		KWK Nowa Ruda
72	LW Bogdanka		od 2001 r. Lubelski Węgiel Bogdanka	Czynna kopalnia	LW Bogdanka

LEGENDA

	Czynne kopalnie
	Zamknięte kopalnie
	Nowe kopalnie po roku 1989
	Kopalnie zespolone
	Właściciel/przedsiębiorca

Aneks nr 3. Ankieta – kryteria określające żywotność kopalń węgla kamiennego

Ankieta dla potrzeb analizy strukturalnej |

Ankieta ma na celu ustalenie zależności pomiędzy występującymi w górnictwie węglowym zagrożeniami naturalnymi (tabela 1) oraz pomiędzy czynnikami geologiczno – górnictwymi (tabela 2) w aspekcie potencjalnej oceny żywotności kopalń węgla kamiennego w obszarze GZW.

Miejsce zatrudnienia:

☐ przemyśl wydobywczy ☐ instytucja naukowa ☐ instytucja rządowa/samorządowa ☐ organizacja pozarządowa ☐ inne

Lata doświadczenia związane z przemysłem wydobywczym?.....

Kraj?.....

Ocen wzajemne zależności pomiędzy zmiennymi (kryteriami) według wpływ od 0 do 3

0 – brak wpływu, 1 – słaby wpływ, 2 – średni wpływ, 3 – silny wpływ

Proszę pamiętać, że wpływy mogą być różne dla tych samych kryteriów, np. deszcz powoduje pojawienie się wody na ulicy ale woda na ulicy nie oznacza deszczu.

Tabela 1

	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9
Zmienne	Zagrożenie gazowe – zapłon i wybuchy metanu	Zagrożenie pożarowe – pożary endogeniczne	Zagrożenie sejsmiczne – wstrząsy powiązane z powierzchnią	Zagrożenie tapaniami – wstrząsy powiązane z dołem kopalni	Zagrożenie pyłowe – wybuchy pyłu węglowego	Zagrożenie klimatyczne – wysoka temperaturę w sieci wentylacyjnej	Zagrożenie wodne – woda ze szczelin uskokowych /kurzawki	Zagrożenie wyrzutami – węgla/gazów/skał	Zagrożenie zawałami skał stropowych
H1	0 ↑								
H2	↑	0							
H3	↑		0						
H4	↑			0					
H5	↑				0				
H6	↑					0			
H7	↑						0		
H8	↑							0	
H9	↑								0

Tabela 2

Zmienne	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
	Głębokość eksploatacji	Miaższność pokładów węgla	Typ węgla	Zawartość siarki w węglu	Wielkość/za gospodarow anie obszaru górniczego	Czas ważności koncesji na eksploatację	Wielkość wydobycia (średnia roczna)	Wielkość dostępnych zasobów	Wskaźnik znużeniowości złoża
P1	Głębokość eksploatacji 0								
P2	Miaższność pokładów węgla 0								
P3	Typ węgla 0								
P4	Zawartość siarki w węglu 0								
P5	Wielkość/za gospodarow anie obszaru górniczego 0								
P6	Czas ważności koncesji na eksploatację 0								
P7	Wielkość wydobycia (średnia roczna) 0								
P8	Wielkość dostępnych zasobów 0								
P9	Wskaźnik znużeniowości złoża 0								

Dziękuję za wypełnienie ankiety.

Aleksander Frejowski

afrejowski@gig.eu

519584710

Aneks nr 4. Instrukcja wypełniania danych dla potrzeb analizy wielokryterialnej

Ankieta dla potrzeb oceny wielokryterialnej

Dane eksperta:

Miejsce zatrudnienia: ☐ instytucja naukowo-badawcza ☐ kopalnia ☐ inne

Lata doświadczenia: ☐ <10 ☐ 11–20 ☐ 21–30 ☐ 31–40 ☐ > 40

Etap1: Ocena wpływu kryteriów technicznych na proponowane akcje/mikroakcje

W **macierzy** oceniamy wpływ kryteriów technicznych na proponowane akcje/mikroakcje

Ekspert ocenia każdy wpływ w skali od **0** (brak wpływu) do **20** (najsilniejszy wpływ).

Jeżeli kryterium ma **negatywny wpływ** na dane działanie, wprowadzamy wagę ujemną.

Wartość **-20** określa najsilniejszy negatywny wpływ.

Macierz kryteria techniczne/akcje:

Lp.	Akcja Kryterium	Produkcja wodoru	Ekopark przemysłowy	Małe reaktory jądrowe	Magazynowanie energii (sole stopione)
1	Charakter otoczenia kopalni/bliskość przemysłu				
2	Dostępna przestrzeń dla nowych projektów/technologii				
3	Dostępna infrastruktura dla nowych projektów/technologii				
4	Koncesje i inne regulacje prawne				
5	Ograniczenia prawne				
6	Geometria OUOW				
7	Ograniczenia OUOW				
8	Materiał OUOW				
9	Poziom zatopienia kopalni				
10	Woda pompowana z kopalni				

Etap 2: Analiza wielokryterialna

W celu przeprowadzenia analizy wielokryterialnej konieczne jest stworzenie dwóch macierzy:

- **Macierz 1:** Ocena relacji między akcjami a kryteriami
- **Macierz 2:** Ocena relacji między mikroakcjami a kryteriami
- **Macierz 3:** Ocena relacji między politykami a kryteriami

Macierz 1 i 2: Ocena relacji działań względem kryteriów (CM)

Macierz 1 i 2 przedstawiają ocenę relacji akcji/mikroakcji w odniesieniu do kryteriów. Ocena relacji odbywa się w skali od 0 (brak relacji) do 20 (najsilniejsza relacja).

W tej analizie **nie rozróżnia się**, czy relacja jest pozytywna, czy negatywna. Oceniana jest jedynie siła związku pomiędzy danym działaniem a kryterium.

Lp.	Kryterium Akcja	Bezpieczeństwo energetyczne	Zasoby odnawialne (zazielenianie)	Koszt inwestycji	Benefity	Rozwój regionalny	Środowisko	Nowe miejsca pracy
1	Wirtualna elektrownia							
2	Produkcja wodoru							
3	Ekopark przemysłowy							
4	Turystyka i rekreacja							
5	Metan (ciepło i energia)							
6	Małe reaktory jądrowe							
7	Magazynowanie energii (sole stopione)							

Macierz 3: Ocena polityk względem kryteriów

Macierz 3 przedstawia ocenę polityk odniesieniu do kryteriów. W tej macierzy oceniane są wagi relacji, przy czym suma wag w każdym wierszu musi zawsze wynosić **100**.

Zasady oceny:

- Nie ma maksymalnego ograniczenia dla pojedynczej wartości wag w macierzy.
- W skrajnych przypadkach jedna waga może wynosić **100**, jeśli pozostałe relacje w danym wierszu są ocenione na **0**.
- Analiza nie rozróżnia, czy relacja jest pozytywna, czy negatywna; ocenie podlega jedynie siła relacji między polityką a kryteriami.

L p.	Kryterium Polityka	Bezpieczeństwo energetyczne	Zasoby odnawialne (zazielenianie)	Koszt inwestycji	Benefity	Rozwój regionalny	Środowisko	Nowe miejsca pracy	Σ
1	Klimat 2050								100
2	Wzrost gospodarczy								100
3	Ludzie								100

Aneks nr 5. Macierze wpływów bezpośrednich dla potrzeb analizy strukturalnej

(kryteria kluczowe dla określenia potencjału zamykanych kopalń)

Macierz wpływów bezpośrednich – kopalnia część podziemna

	Nr 1	Nr 2	Nr 3	Nr 4	Nr 5	Nr 6	Nr 7	Nr 8	Nr 9	Nr 10	Nr 11	Nr 12	Nr 13	Nr 14	Nr 15	Nr 16
Nr 1	0	3	3	3	3	1	3	1	3	3	1	1	0	3	3	3
Nr 2	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	4	1	1	0	1
Nr 3	3	3	0	2	2	2	2	2	1	1	0	2	1	1	0	0
Nr 4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nr 5	0	0	0	3	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Nr 6	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0
Nr 7	0	2	0	3	2	1	0	2	3	0	0	2	2	3	2	3
Nr 8	0	0	0	1	1	1	3	0	2	0	0	3	4	1	1	2
Nr 9	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	3	4	1	1	3
Nr 10	3	0	0	2	1	0	2	1	1	0	0	0	0	1	2	2
Nr 11	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Nr 12	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Nr 13	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Nr 14	0	0	0	3	0	1	1	2	1	0	0	2	2	0	1	3
Nr 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Nr 16	1	2	0	3	2	2	2	2	2	2	0	2	3	3	2	0

Macierz wpływów bezpośrednich – kopalnia część powierzchniowa

Kryterium	Nr 17	Nr 18	Nr 19	Nr 20	Nr 21	Nr 22	Nr 23	Nr 24
Nr 17	0	1	0	0	0	0	1	0
Nr 18	1	0	3	0	0	0	0	0
Nr 19	1	1	0	0	0	0	0	0
Nr 20	0	0	0	0	3	2	1	0
Nr 21	0	0	0	3	0	2	2	0
Nr 22	0	0	0	0	3	0	2	0
Nr 23	0	0	0	0	1	0	0	3
Nr 24	0	0	2	1	0	0	0	0

Macierz wpływów bezpośrednich – otoczenie kopalni

Kryterium	Nr 25	Nr 26	Nr 27	Nr 28	Nr 29	Nr 30	Nr 31	Nr 32	Nr 33	Nr 34	Nr 35	Nr 36	Nr 37	Nr 38
Nr 25	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nr 26	0	0	0	1	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Nr 27	0	0	0	0	2	2	0	1	0	0	1	2	0	1
Nr 28	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	0	0
Nr 29	1	2	1	3	0	2	2	2	1	1	1	1	0	1
Nr 30	0	0	3	2	1	0	2	3	2	0	1	1	2	2
Nr 31	0	0	0	1	0	2	0	3	0	3	1	3	2	2
Nr 32	4	0	0	1	3	3	3	0	0	0	0	1	2	2
Nr 33	0	0	0	2	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
Nr 34	0	0	0	1	1	0	0	0	3	0	1	0	0	1
Nr 35	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	2
Nr 36	1	1	0	1	2	2	2	2	0	0	0	0	1	1
Nr 37	0	0	0	1	1	2	1	1	0	0	0	2	0	0
Nr 38	0	0	0	1	1	1	1	2	1	0	0	1	0	0

Aneks nr 6. Macierze dla potrzeb analizy wielokryterialnej

Macierz 1 (akcje/kryteria)

Lp.	Kryterium Akcja	Bezpieczeństwo energetyczne	Zasoby odnawialne (zazielenianie)	Koszt inwestycji	Benefity	Rozwój regionalny	Środowisko	Nowe miejsca pracy
1	Wirtualna elektrownia	10	20	8	10	10	15	3
2	Produkcja wodoru	15	20	4	5	20	20	5
3	Ekopark przemysłowy	10	15	10	5	17	15	20
4	Turystyka i rekreacja	5	5	10	5	15	20	5
5	Metan (ciepło i energia)	5	5	10	5	3	15	2
6	Małe reaktory jądrowe	20	3	2	10	10	18	15
7	Magazynowanie energii (sole stopione)	20	20	16	10	10	15	5

Macierz 2 (mikroakcje/kryteria)

Lp.	Kryterium Mikroakcja	Bezpieczeństwo energetyczne	Zasoby odnawialne (zazielenianie)	Koszt inwestycji	Benefity	Rozwój regionalny	Środowisko	Nowe miejsca pracy
1	Akumulatory (wspomaganie przesyłu energii)	20	20	15	8	2	1	0
2	Odzysk surowców (OUOW)	0	0	10	10	10	16	5
3	Odzysk surowców (wody kopalniane)	0	10	10	3	7	15	5
4	Wielkoskalowa infrastruktura IT	0	5	15	15	0	5	0
5	Grawitacyjna produkcja i magazynowanie energii	15	15	2	5	10	10	5
6	Magazynowanie energii (ciecze ciężkie)	20	20	5	10	5	20	5
7	Energia geotermalna	20	20	16	10	15	20	5
8	Podziemna elektrownia szczytowo-pompowa	20	20	2	10	10	20	5

Macierz 3 (polityki/kryteria)

Lp.	Kryterium Polityka	Bezpieczeństwo energetyczne	Zasoby odnawialne (zazelenianie)	Koszt inwestycji	Benefity	Rozwój regionalny	Środowisko	Nowe miejsca pracy	Σ
1	Klimat 2050	40	20	10	0	0	30	0	100
2	Wzrost gospodarczy	20	10	25	10	10	5	20	100
3	Ludzie	15	0	15	0	20	10	40	100

Aneks nr 7. Wyniki oceny kryteriów technicznych dla akcji i mikroakcji

Wyniki oceny kryteriów technicznych dla akcji

Lp.	Akcja Kryterium	Produkcja wodoru	Ekopark przemysłowy	Małe reaktory jądrowe	Magazynowanie energii (sole stopione)
1	Charakter otoczenia kopalni/bliskość przemysłu	18	15	-5	14
2	Dostępna przestrzeń dla nowych projektów/technologii	18	10	-5	15
3	Dostępna infrastruktura dla nowych projektów/technologii	20	15	18	15
4	Koncesje i inne regulacje prawne	10	10	5	5
5	Ograniczenia prawne	-15	10	-5	-5
6	Geometria OUOW	0	0	0	0
7	Ograniczenia OUOW	-10	-10	-5	-5
8	Materiał OUOW	0	0	0	5
9	Poziom zatopienia kopalni	0	0	5	5
10	Woda pompowana z kopalni	10	5	10	5

Wyniki oceny kryteriów technicznych dla mikroakcji

Lp.	Mikroakcja Kryterium	Akumulatory (wspomaganie przesyłu energii)	Magazynowanie energii (ciecze ciężkie)	Energia geotermalna	Podziemna elektrownia szczytowo- pompowa
1	Charakter otoczenia kopalni/bliskość przemysłu	15	20	20	10
2	Dostępna przestrzeń dla nowych projektów/technologii	15	20	15	0
3	Dostępna infrastruktura dla nowych projektów/technologii	20	20	10	10
4	Koncesje i inne regulacje prawne	5	-5	15	-20
5	Ograniczenia prawne	5	0	-5	0
6	Geometria OUOW	0	0	0	0
7	Ograniczenia OUOW	0	0	-5	0
8	Materiał OUOW	0	0	0	0
9	Poziom zatopienia kopalni	0	-10	0	-20
10	Woda pompowana z kopalni	0	0	0	-10

Aneks nr 8. Wyniki analiz eksperckich dla oceny wpływu rezultatów bezpośrednich na scenariusze

Ekopark przemysłowy z wirtualną elektrownią oraz produkcją wodoru							
Lp.	Wskaźnik rezultatu	Grupa 1	Grupa 2	Grupa 3	Grupa 4	Grupa 5	Średnia
1	Zatrudnienie w pełnym wymiarze czasu pracy	4	3	3	5	4	3,8
2	Nowi badacze zatrudnieni w pełnym wymiarze godzin	4	2	2	3	4	3
3	Firmy wdrażające innowacyjne procesy/produkty	4	3	4	5	5	4,2
4	Zgłoszenia patentowe złożone do EPO	4	2	3	3	3	3
5	Odbiorcy energii podłączeni do inteligentnych sieci	3	5	3	3	4	3,6
6	Moc energii wytwarzanej ze źródeł odnawialnych zainstalowanej i podłączonej do sieci	5	5	3	1	4	3,6
7	Efektywność energetyczna	1	3	2	1	2	1,8
8	Szacowana emisja gazów cieplarnianych na niskim poziomie w trakcie okresu eksploatacji	5	4	4	5	5	4,6
9	Tony odpadów poddanych recyklingowi	3	5	3	5	4	4
10	Przestrzeń wymagana do realizacji opcji	2	2	3	2	3	2,4
11	Poprawa jakości oferowanych usług w ramach ekoparku przemysłowego	3	4	3	5	5	4
12	Korzyści/zwrot z inwestycji	4	2	3	3	4	3,2
13	Potencjał do wspierania innych działań biznesowych	5	5	5	5	5	4,8
14	Stopień bezpieczeństwa energetycznego	3	5	4	4	4	4
15	Ograniczenie wpływu na środowisko – LCA	4	5	5	5	4	4,5
16	Wpływ na środowisko w miejscu działalności	3	4	5	5	4	4,2
17	Wzrost konkurencyjności regionu	4	5	4	5	4	4,4

Ekopark przemysłowy z wirtualną elektrownią oraz magazynem energii (sole stopione)							
Lp.	Wskaźnik rezultatu	Grupa 1	Grupa 2	Grupa 3	Grupa 4	Grupa 5	Średnia
1	Zatrudnienie w pełnym wymiarze czasu pracy	4	3	3	2	4	3,2
2	Nowi badacze zatrudnieni w pełnym wymiarze godzin	2	1	1	2	3	1,8
3	Firmy wdrażające innowacyjne procesy/produkty	1	3	2	1	3	2
4	Zgłoszenia patentowe złożone do EPO	3	2	2	2	3	2,4
5	Odbiorcy energii podłączeni do inteligentnych sieci	5	5	3	3	3	3,8
6	Moc energii wytwarzanej ze źródeł odnawialnych zainstalowanej i podłączonej do sieci	5	5	3	3	5	4,2
7	Efektywność energetyczna	4	3	3	4	4	3,6
8	Szacowana emisja gazów cieplarnianych na niskim poziomie w trakcie okresu eksploatacji	5	4	4	4	4	4,2
9	Tony odpadów poddanych recyklingowi	3	3	3	2	4	3
10	Przestrzeń wymagana do realizacji opcji	3,5	2,5	3	4	3	3,2
11	Poprawa jakości oferowanych usług w ramach ekoparku przemysłowego	4	2	2	3	4	3
12	Korzyści/zwrot z inwestycji	3	3	2	3	3	2,8
13	Potencjał do wspierania innych działań biznesowych	2,5	2	2	2	3	2,3
14	Stopień bezpieczeństwa energetycznego	4	4	3	3	4	3,6
15	Ograniczenie wpływu na środowisko – LCA	3	4	5	5	3	4
16	Wpływ na środowisko w miejscu działalności	3	3	5	4	4	3,8
17	Wzrost konkurencyjności regionu	2	2	3	3	4	2,8

Ekopark przemysłowy z wirtualną elektrownią oraz wspomaganie przesyłu energii							
Lp.	Wskaźnik rezultatu	Grupa 1	Grupa 2	Grupa 3	Grupa 4	Grupa 5	Średnia
1	Zatrudnienie w pełnym wymiarze czasu pracy	1	1	2	2	2	1,6
2	Nowi badacze zatrudnieni w pełnym wymiarze godzin	1	1	2	1	2	1,4
3	Firmy wdrażające innowacyjne procesy/produkty	2,5	2	4	1	3	2,5
4	Zgłoszenia patentowe złożone do EPO	3	1	3	2	2	2,2
5	Odbiorcy energii podłączeni do inteligentnych sieci	5	5	3	3	3	3,8
6	Moc energii wytwarzanej ze źródeł odnawialnych zainstalowanej i podłączonej do sieci	4	5	4	2	3	3,6
7	Efektywność energetyczna	5	4	5	3	3	4
8	Szacowana emisja gazów cieplarnianych na niskim poziomie w trakcie okresu eksploatacji	5	4	3	3	3	3,6
9	Tony odpadów poddanych recyklingowi	1	1	1	1	1	1
10	Przestrzeń wymagana do realizacji opcji	5	4	4	4	4	4,2
11	Poprawa jakości oferowanych usług w ramach ekoparku przemysłowego	4	2	4	2	2	2,8
12	Korzyści/zwrot z inwestycji	4	3	4	2	2	3
13	Potencjał do wspierania innych działań biznesowych	2	2	5	2	3	2,8
14	Stopień bezpieczeństwa energetycznego	5	5	4	3	3	4
15	Ograniczenie wpływu na środowisko – LCA	2	2	4	4	3	3
16	Wpływ na środowisko w miejscu działalności	5	3	5	3	4	4
17	Wzrost konkurencyjności regionu	2	2	3	2	3	2,4

Aneks nr 9. Macierze wpływów bezpośrednich dla potrzeb analizy strukturalnej

(kryteria kluczowe dla określenia żywotności kopalń)

Macierz wpływów bezpośrednich (kryteria określające skrzepowanie eksploatacji)

	Nr 1	Nr 2	Nr 3	Nr 4	Nr 5	Nr 6	Nr 7	Nr 8	Nr 9	Nr 10
Nr 1	0	3	1	1	3	1	0	1	0	3
Nr 2	3	0	0	0	2	3	0	2	0	2
Nr 3	1	0	0	3	1	0	2	2	3	0
Nr 4	3	2	1	0	2	1	1	2	3	3
Nr 5	3	1	0	0	0	0	0	0	0	3
Nr 6	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0
Nr 7	0	0	0	2	0	0	0	1	2	0
Nr 8	1	4	0	1	1	1	1	0	1	0
Nr 9	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0
Nr 10	2	1	0	2	0	0	0	0	0	0

Macierz wpływów bezpośrednich (kryteria określające jakość zasobów i dostęp do nich)

	Nr 11	Nr 12	Nr 13	Nr 14	Nr 15	Nr 16	Nr 17	Nr 18	Nr 19
Nr 11	0	2	2	1	2	3	3	3	2
Nr 12	1	0	0	0	0	3	3	3	1
Nr 13	0	0	0	2	1	2	3	1	0
Nr 14	0	0	2	0	0	1	1	2	0
Nr 15	3	2	0	0	0	3	2	3	1
Nr 16	3	0	0	0	0	0	3	1	0
Nr 17	2	1	1	0	2	2	0	3	1
Nr 18	3	3	2	1	2	3	2	0	0
Nr 19	2	2	2	1	1	1	3	1	0

Aneks nr 10. Niebezpieczne zdarzenia w wybranych kopalniach węgla kamiennego w Polsce w latach 2008–2024

Zdarzenia związane z zagrożeniem gazowym – zapalenia i wybuchy metanu (lokalizacja: pokład i poziom wydobywczy, na czerwono zdarzenia z ofiarami śmiertelnymi)

Rok	Jankowice	Chwałowice	Marcel	Rydułtowy	Bielszowice	Halemba	Piast	Ziemowit	Bolesław Śmiały	Sośnica	Staszic-Wujek	Mysłowice-Wesoła	Brzeszcze	Janina	Sobieski	Bobrek
2008												pokład 510; p. 665 m				
2009																
2010												pokład 510; p. 665 m pokład 510, p. 665m				
2011					pokład 507; p. 840 m						pokład 501; p. 720m					
2012																
2013				pokład 713/1-2						pokład 409/1; p. 950 m; pokład 408/1; p. 950 m	pokład 510; p. 900 m; pokład 510; p.900 m					
2014		pokład 405/1			pokład 407/3; p.840 m							pokład 510; p. 665 m				
2015				pokład 703/1; p.1067 m						pokład 408/4; p. 950 m		pokład 510; p.665 m				
2016						pokład 402; p. 1030 m					szyb Zygmunt; pokład 501; p. 900 m		pokład 510; p. 740–900 m			
2017													pokład 510; p. 900 m			
2018											pokład 510; p.900 m					
2019											pokład 501; p.900 m					
2020																
2021																
2022						pokład 410; p.1030 m				pokład 414/1; p. 950 m	pokład 501; p. 900 m					
2023																
2024																
Suma	0	1	0	2	2	2	0	0	0	4	8	5	2	0	0	0

Zdarzenia związane z zagrożeniem pożarowym – pożary endogeniczne (lokalizacja: pokład i poziom wydobywczy)

Rok	Jankowice	Chwałowice	Marcel	Rydułtowy	Bielszowice	Halemba	Piast	Ziemowit	Bolesław Śmiały	Sośnica	Staszic-Wujek	Mysłowice-Wesoła	Brzeszcze	Janina	Sobieski	Bobrek
2008												pokład 510; p. 665 m		pokład 118; p.350 m	pokład 207; p.500 m	
2009		pokład 405/5; p. 390–550 m								pokład 408/4; p.840 m; pokład 407/2; p.750 m	pokład 510/III; p.900 m	pokład 510; p.665 m				
2010	pokład 504; p. 250 m										pokład 510/II; p.830 m	pokład 510; p. 665 m				
2011					pokład 504wg; p.840 m; pokład 504wd; p. 780 m						pokład 405; p. 680 m; pokład 510; p. 720 m					
2012											pokład 405; p. 680 m	pokład 510; p.665 m	pokład 510; p. 740 m			
2013							pokład 209; p.650 m								pokład 207; p. 500	
2014												pokład 318; p. 465 m				
2015					pokład 504wd; p.1000 m; pokład 405/2wg; p.1000 m										pokład 207; p. 500 m	
2016					pokład 507; p. 840 m	pokład 502wd; p. 1030 m		pokład 206/1; p. 500 m				pokład 510; p. 665 m			pokład 207; p. 500 m; pokład 207; p. 500 m	
2017			pokład 505wg; p.400–600 m	pokład 703/1; p. 1200 m	pokład 405/2wg; p. 840 m						pokład 510; p. 900 m; pokład 510; p. 900 m; pokład 510; p. 900 m; pokład 510; p. 830 m					
2018	pokład 505; p.400 m			pokład 713/1-2+712/1-2; p. 1000 m; pokład 713/1-2+712/1-2; p. 1150 m			pokład 209; p. 650 m				pokład 510; p. 900 m; pokład 510; p. 720 m; pokład 510; 720 m			pokład 203/3; p. 500 m		
2019					pokład 510wd; p. 840 m	pokład 405/2wd; p. 840 m; przekop; p. 1030 m					pokład 510; p. 550 m; pokład 501; p. 900 m; szyb I				pokład 207; p. 500 m	pokład 504wd; p. 726 m
2020																
2021					pokład 504; p. 1000 m											
2022					pokład 507; p. 900 m							pokład 510; p.665 m				
2023																
2024						pokład 405/1; p. 1030 m					pokład 501; p. 900 m			pokład 203/3; p. 500 m		
Suma	2	1	1	3	9	4	2	1	0	2	16	7	1	3	6	1

Zdarzenia związane z zagrożeniem tąpniętami – odprężenia górotworu (lokalizacja: pokład)

Rok	Jankowice	Chwałowice	Marcel	Rydułtowy	Bielszowice	Halemba	Piast	Ziemowit	Bolesław Śmiały	Sośnica	Staszic-Wujek	Mysłowice-Wesoła	Brzeszcze	Janina	Sobieski	Bobrek
2008																
2009					pokład 405/2wg pokład 504wg											
2010																
2011																
2012					pokład 510											
2013																
2014																
2015						pokład 504	pokład 209					pokład 510				
2016																
2017				pokład 713/1-2+712/1-2							pokład 510	pokład 510 pokład 510				
2018											pokład 510					
2019											pokład 510 pokład 510 pokład 510					
2020											pochylnia z pokładu 510 do pokładu 501	pokład 510 pokład 416				
2021											pokład 510					
2022				pokład 712/1-2+713/1-2	pokład 504						pokład 510	pokład 510				
2023							pokład 209					pokład 510				
2024			pokład 505		pokład 405/2wg						pokład 510 pokład 510	pokład 501 pokład 510 pokład 510 pokład 510				
Suma	0	0	1	2	5	1	2				10	11	0	0	0	0

Zdarzenia związane z zagrożeniem tąpnięciami – tąpnięcia (lokalizacja: pokład, na czerwono zdarzenia z poszkodowanymi)

Rok	Jankowice	Chwałowice	Marcel	Rydułtowy	Bielszowice	Halemba	Piast	Ziemowit	Bolesław Śmiały	Sośnica	Staszic-Wujek	Mysłowice-Wesoła	Brzeszcze	Janina	Sobieski	Bobrek
2008					510						501					
2009					405/2wg											
2010				713/1-2+712/1-2; 713/1-2+712/1-2												
2011																
2012			703/1-2-705/1													
2013																
2014																
2015						504										
2016					507											
2017				706							510	510				
2018												510				
2019			505wg	703/1	405/2wg						510					
2020					504wd											
2021					504wg						510					
2022			712/1-2 713/1									510				
2023					405/2wg											
2024				712/1-2+713/1-2								510				510
Suma	0	0	3	5	7	1	0	0	0	0	3	4	0	0	0	1

