



CZASOPISMO TECHNICZNE KTT

KWARTALNIK KRAKOWSKIEGO TOWARZYSTWA TECHNICZNEGO

Nr 206 Rok 146

Kraków 2026 r.

Czerwiec-Sierpień

Nr Indeksu 334008

ISSN: 1425-8390



Dr Aleksander Iwaszczuk¹⁾, dr Paweł Jastrzębski²⁾, mgr Jarosław Baran³⁾

¹⁾ Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki

²⁾ MPEC S.A. w Krakowie

³⁾ AGH w Krakowie

Identyfikacja czynników wpływu na wybór pompy ciepła

1. Wprowadzenie

Odczucie od paliw kopalnych jako głównego źródła wytwarzania energii cieplnej, jest jednym z głównych priorytetów Unii Europejskiej, co jednocześnie przekłada się na konieczność podjęcia odpowiednich działań w krajach członkowskich, w tym w Polsce. W dobie postępujących zmian klimatycznych i rosnącej świadomości ekologicznej, kwestia efektywności energetycznej budynków oraz wyboru odpowiednich systemów grzewczych staje się kluczowym elementem zrównoważonego rozwoju. W przyszłości wytwarzanie energii cieplnej (w tym na potrzeby mieszkalnictwa) musi skupiać się na ograniczeniu wykorzystania takich surowców energetycznych, jak węgiel czy gaz ziemny. Szczególnie niepożądany jest węgiel, gdyż jego spalanie przyczynia się do emisji dużej ilości zanieczyszczeń do atmosfery. W konsekwencji wzrasta zachorowalność ludzi (m.in. na choroby płuc) oraz liczba ich zgonów.

Polska, podobnie jak inne kraje Unii Europejskiej, stoi przed wyzwaniem dostosowania się do wymogów polityki klimatycznej, której celem jest redukcja emisji gazów cieplarnianych i pyłów, przy jednoczesnym zwiększeniu udziału odnawialnych źródeł energii (OZE) w miksie energetycznym. Jednak zastosowanie nowych technologii opartych na OZE w budynkach starego budownictwa nie jest efektywne a czasem nawet staje się zupełnie niemożliwym bez ich przebudowy i termomodernizacji. Stare budynki często charakteryzują się nie tylko niską efektywnością energetyczną, lecz również wysokoemisyjnymi systemami grzewczymi. Tradycyjne źródła ciepła (takie jak kotły na węgiel, olej opałowy czy gaz ziemny) generują bowiem znaczne ilości dwutlenku węgla oraz innych szkodliwych substancji, które przyczyniają się do zanieczyszczenia powietrza i pogłębiania efektu cieplarnianego na kuli ziemskiej. Zatem, w świetle rosnących wymagań ekologicznych zastąpienie starych systemów grzewczych rozwiązaniami nowoczesnymi – o niskiej emisji gazów cieplarnianych i pyłów – staje się wręcz koniecznością.

2. Pompy ciepła źródłem czystej energii

W tym kontekście, pompy ciepła są postrzegane jako jedna z kluczowych alternatyw do instalacji opartych na technologii spalania paliw kopalnych. Generacja ciepła za pomocą pomp nie jest bezpośrednio obciążona emisją spalin, dwutlenku węgla czy innych produktów spalania, a jednocześnie umożliwia wykorzystanie energii elektrycznej pochodzącej z OZE. Co więcej, sprawność tych urządzeń wynosi nawet kilkaset procent. Można je instalować zarówno w nowo zbudowanych budynkach, jak i w starym budownictwie. Jednak w tym drugim przypadku, zalecane jest przeprowadzenie termomodernizacji – zwiększenie izolacyjności cieplnej i zoptymalizowanie systemu zarządzania energią. Wówczas pompy ciepła mogą stanowić efektywną i opłacalną alternatywę dla kotłów na paliwa stałe czy gazowe.

Rozważając zastąpienie dotychczasowego systemu grzewczego pompą ciepła, inwestor musi dokonać wyboru typu pompy oraz jej parametrów. Jakże zatem czynniki należy wziąć pod uwagę? Jest wiele artykułów naukowych na ten temat, jednak nieco mniej jest tych dotyczących warunków klimatycznych Polski, które odgrywają pierwszorzędą rolę. Jednym z nich jest artykuł [1], w którym Firlag i Piasecki omówili kwestie renowacji budynku rozumianej jako doprowadzenie do minimalistycznego a nawet do „niemal zerowego zużycia energii” (Nearly Zero Energy Building, NZEB). Przy tym, brali pod uwagę m.in. takie czynniki, jak: zapotrzebowanie na energię do ogrzewania, zapotrzebowanie na energię pierwotną, wymagania izolacyjne dla remontowanych elementów, ceny energii, liczba stopniodni grzewczych dla danej miejscowości, współczynniki przenikania ciepła. Z kolei Pater w swojej publikacji [2] opisał pomiary terenowe oraz wyniki analizy efektywności energetycznej urządzeń wykorzystujących OZE w systemie ogrzewania i chłodzenia budynku mieszkalnego usytuowanego na południu Polski. Sewastianik i Gajewski w artykule [3] dokonali oceny efektywności energetycznej i ekologicznej różnych typów pomp ciepła pracujących w polskich warunkach klimatycznych. W swoich badaniach na temat efektywności energetycznej uwzględnili stopniodni grzewcze, które wywierają znaczący wpływ na wielkość sezonowego zapotrzebowania cieplnego w

budynkach. Warto podkreślić, że liczba stopniodni grzewczych bardzo zależy od lokalizacji budynku. Ekologiczność z kolei była badana w oparciu o wielkość pośredniej (związanej z produkcją energii elektrycznej) emisji dwutlenku węgla [3].

Wyniki analizy pracy i charakterystyk energetycznych pomp ciepła, w kontekście zastosowania przez polskie gospodarstwa domowe opublikowano w artykule [4]. Opisano w nim też jeden ze sposobów doboru systemu grzewczego dla domu niskoenergetycznego, z uwzględnieniem wskaźników zużycia energii pierwotnej i finalnej. Kolejnym artykułem poświęconym doboru pomp ciepła był [5]. Autorzy omówili tu wiarygodny i kompleksowy wybór pompy ciepła odpowiedniej dla domu jednorodzinnego. Zaproponowali procedurę umożliwiającą inwestorom indywidualnym i właścicielom domów dokonanie rzetelnego i świadomego, wieloattributowego wyboru odpowiedniej powietrznej pompy ciepła. Pod uwagę wzięli takie czynniki: warunki techniczne związane z możliwością zastosowania niektórych typów pomp ciepła (powietrznych, wodnych lub gruntowych), ich specyficzne przeznaczenie (dostawa ciepła do ogrzewania, ogrzewania i ciepłej wody użytkowej lub chłodzenia), wymagane parametry techniczne pomp ciepła (np. moc dostarczana przez urządzenie).

Celem niniejszego artykułu jest identyfikacja kluczowych czynników wpływu na dobór pompy ciepła dla budynku mieszkalnego usytuowanego na terytorium Polski. Wyniki badań umożliwią inwestorom lub właścicielom dokonanie właściwego doboru pompy ciepła, pod względem komfortu cieplnego zamieszkania w budynku, jak i kosztów jego ogrzewania.

3. Identyfikacja kluczowych czynników wpływu

Aby poprawnie wybrać typ i parametry pompy ciepła, należy przede wszystkim dopasować ją do kształtu i powierzchni budynku oraz możliwości instalacyjnych (powietrzna, gruntowa, wodna pompa ciepła). Poza tym, pod uwagę należy wziąć:

- izolację termiczną budynku;
- techniki ogrzewania gospodarstw domowych;
- sprawność systemu grzewczego w budynku;
- temperaturę zewnętrzną otoczenia;
- ceny surowca będącego nośnikiem energii.

Znajomość wpływu tych czynników jest niezbędna, aby uzyskać rzetelne szacunki, gdyż każdy z nich w sposób istotny wpływa na wartość kosztów ogrzewania. Na pierwsze trzy czynniki użytkownik może mieć wpływ (choć ograniczony w czasie), inne zaś całkiem niezależne od niego. Co więcej, w obliczu dużej dynamiki cen nośników energii i zachodzących zmian

klimatycznych, należy uwzględnić też przyszłe. Przyjrzyjmy się tym czynnikom uważniej.

3.1. Izolacja termiczna budynku

Izolacja termiczna budynku jest związana z przenikalnością cieplną przegród zewnętrznych, która ma bezpośrednie przełożenie na straty ciepła. Aby utrzymać pożądaną temperaturę w pomieszczeniach, system grzewczy musi te straty ciągle uzupełniać. Aktualne krajowe normy dotyczące energochłonności budynku (zapotrzebowania na energię pierwotną) i związanych z tym parametrów przenikalności cieplnej przegród zewnętrznych, noszą nazwę Warunków Technicznych 2025 (WT 2025) [6]. Jednakże, obecna norma WT 2025 jest zapewne nie ostatnią, kolejna bowiem jest zapowiadana już na jesień 2026 r. [7]. Na przestrzeni dekad normy te ulegały zmianom, stale podwyższając parametry techniczne budynku (dotyczące izolacji termicznej), przekładające się na zmniejszanie zapotrzebowania cieplnego. Kwestia ta jest niezwykle istotna, gdyż wiele budynków w Polsce przeszło termomodernizację w celu uzyskania takich parametrów, które umożliwiałyby skorzystanie z programów wsparcia finansowego, m.in. najbardziej popularnego programu rządowego „Czyste Powietrze” [8]. To z kolei przekładało się bezpośrednio na zużycie energii cieplnej czy wielkość mocy grzewczej źródła ciepła.

Moc grzewcza jest kluczowym parametrem dla prawidłowego dostosowania pompy ciepła do już istniejącego budynku. W przypadku termomodernizacji budynków należy wziąć pod uwagę jeszcze jeden ważny aspekt. W starszych budynkach system centralnego ogrzewania (C.O.) opierał się na wysokotemperaturowych źródłach ciepła, takich jak kotły na paliwa stałe (węglowe, rzadziej – drewno) bądź gazowe. Jednakże, sprawność pompy ciepła (wyrażana w COP¹) spada wraz ze wzrostem temperatury wody opuszczającej urządzenie (LWT²), i dostarczanej do układu grzewczego (np. kaloryferów). Dodatkowo, spadek temperatury zewnętrznej powoduje obniżenie współczynnika COP, co w niekorzystnych warunkach atmosferycznych prowadzi do nieefektywnej pracy pompy, a w skrajnych przypadkach może skutkować brakiem możliwości uzyskania zadanej temperatury w obiegu grzewczym. Zasilanie grzejników czynnikiem o temperaturze zbliżonej do tych ze starych systemów grzewczych (65-75°C) jest nieekonomiczne, a dla wielu pomp ciepła – niemożliwe do osiągnięcia. Dlatego tak istotna jest termomodernizacja budynku, dzięki której: 1) obniża się jego zapotrzebowanie cieplne; 2) zmniejsza się niezbędna moc grzewcza pompy ciepła; 3) obniża się temperatura zasilania (zwiększając współczynnik COP), ze względu na swoiste przewymiarowanie odbiorników (zwykle w postaci

¹ COP – Coefficient of Performance, wskaźnik efektywności pompy ciepła. Jego wartość wskazuje, ile energii cieplnej (wyrażonej w kWh) wytwarza pompa ciepła, z każdej pobranej kilowatogodziny energii elektrycznej w danej chwili. Przykładowo, COP = 4 oznacza

wytworzenie 4 kWh energii cieplnej, z każdej pobranej 1 kWh energii elektrycznej.

² LWT, Leaving Water Temperature oznacza temperaturę wody zasilającej, tj. temperaturę, do jakiej pompa ciepła ogrzewa wodę dostarczaną do układu C.O.

kaloryferów). Należy podkreślić, że czasami termomodernizacja jest jedynym sposobem na efektywne podłączenie pompy ciepła do starszego budynku.

3.2. Techniki ogrzewania gospodarstw domowych

Koszt energii cieplnej dostarczonej do budynku jest bezpośrednio związany z użytym źródłem energii. W polskich budynkach mieszkalnych, najczęściej wykorzystywane są następujące techniki ogrzewania: ciepło sieciowe, kotły na paliwo stałe (jedno i dwufunkcyjne), kotły na gaz ziemny (jedno i dwufunkcyjne), ogrzewanie elektryczne bezpośrednie (w postaci grzejników i mat grzewczych), ogrzewanie elektryczne pośrednie (pompy ciepła powietrzne oraz gruntowe) oraz kominki i piece (oba na paliwa stałe).

Dane prezentujące rozkład technik ogrzewania stosowanych w gospodarstwach domowych w Polsce w 2024 roku przedstawiono w tabeli 1. Jak widać, do ogrzewania pomieszczeń wykorzystywano głównie ciepło sieciowe i paliwa stałe.

Tabela 1. Wyposażenie gospodarstw domowych w urządzenia do ogrzewania pomieszczeń w 2024 r.

Techniki ogrzewania	w %
Ciepło sieciowe	44,2
Kocioł dwufunkcyjny – paliwa stałe	13,3
Kocioł jednofunkcyjny – paliwa stałe	13,2
Kocioł dwufunkcyjny – gaz ziemny	14,2
Grzejniki stałe i ruchome, ogrzewanie podłogowe – energia elektryczna	3,6
Kocioł jednofunkcyjny – gaz ziemny	5,6
Piece w pomieszczeniach – paliwa stałe	3,2
Kominek – paliwa stałe	2,0
Inne techniki	0,6

Źródło: [9]

Jeśli chodzi o nośniki energii, to według danych GUS, między 2015 i 2024 rokiem, odsetek gospodarstw domowych, używających do ogrzewania energii elektrycznej, w tym pomp ciepła, wzrósł niemal dwukrotnie – w 2015 r. było 4,5%, natomiast w 2024 r. już 7%. Dotyczy to również użytkowników pomp ciepła, których liczba wzrosła z 0,07% do 2,4%. Łącznie energię elektryczną do ogrzewania w 2024 r. wykorzystywało 9,4% gospodarstw. W tym samym przedziale czasowym (2015-2024) ponad dwukrotnie

Tabela 2. Budynki mieszkalne według roku budowy budynku, w latach 2011 i 2021.

Wyszczególnienie	Razem [tys.]	Wybudowano w latach:									
		[w % ogółu zamieszkanym budynków mieszkalnych]									
		przed 1918	1918 - 1944	1945 - 1970	1971 - 1978	1979 - 1988	1989 - 2002	2003 - 2011	2012 - 2016	2017 - 2021	
Ogółem 2011	5542,6	7,3	14,6	24,6	11,8	13,6	12,1	9,4	-	-	
Ogółem 2021	6189,0	4,8	11,3	21,3	9,0	12,5	15,1	1,6	6,2	6,1	
Miasta 2011	2176,4	8,0	15,1	20,5	11,3	14,5	14,1	10,4	-	-	
Miasta 2021	2416,3	5,7	11,9	18,7	9,0	13,3	16,9	11,5	5,4	5,4	
Wieś 2011	3366,2	6,9	14,3	27,2	12,2	13,1	10,8	8,8	-	-	
Wieś 2021	3772,7	4,2	10,9	23,0	9,1	12,0	13,9	11,6	6,6	6,5	

Źródło: [14]

spadł odsetek gospodarstw używających do ogrzewania węgla (z 40% do 17%) lub drewna (z 42% do 17%), wzrósł natomiast dwukrotnie odsetek gospodarstw ogrzewających się gazem ziemnym (z 10,1% w 2015 r. do 20,7% w 2024 r.) [10].

3.3. Sprawność układu grzewczego

Sprawność układu grzewczego nie jest stała, zależy bowiem od wielu czynników, różniących się w zależności od rodzaju źródła ciepła. Sprawność kotła na gaz ziemny wynosi od ok. 80% w przypadku starszych urządzeń („konwencjonalnych”) do nawet 109% w przypadku pieców kondensacyjnych. Jednak realna sprawność układu zależy od możliwości modulacji mocy, parametrów grzewczych (np. czy zachodzi proces kondensacji) itp., co sprawia, że rzeczywista sezonowa sprawność jest niższa (o kilka...kilkanaście punktów procentowych) [11].

Dla kotłów na paliwo stałe, wartości te są jeszcze niższe i ściśle zależą od klasy, do której zostały przypisane. Najnowsze, kotły klasy V powinny posiadać sprawność nie mniejszą niż 88% (wartości dla mocy 10 kW) [12], klasy IV – 82%, a klasy III – 73% [13]. Starsze kotły, piece, kozy, kominki oraz inne urządzenia grzewcze (szczególnie „pozaklasowe”) mogą charakteryzować się jeszcze niższą sprawnością. W skrajnych przypadkach, całkowita efektywność układu grzewczego (instalacji) może spaść nawet poniżej 50%. W połączeniu z surowcami złej jakości (np. węglem), koszt każdej kilowatogodziny dostarczonego ciepła może być znacznie wyższy, niż w przypadku innych nośników energii. Przykładowo, dla nowoczesnej pompy ciepła sezonowy wskaźnik sprawności (Seasonal Coefficient of Performance, SCOP) może wynosić nawet 3-5 (wartość zależna od temperatury zasilania), co oznacza, że z każdej kilowatogodziny energii elektrycznej dostarczonej do urządzenia, może ono wytworzyć odpowiednio 3-5 kWh energii cieplnej do ogrzania pomieszczenia.

Ważne znaczenie ma też technologia wzniesienia budynków mieszkalnych. Wyniki badań struktury wiekowej budynków w Polsce, przeprowadzonych w czasie Narodowego Spisu Powszechnego w 2021 r., prezentuje tabela 2.

Analiza wyników (tab. 2) pokazała, że w 2021 roku było 6189 tys. budynków mieszkalnych, z czego 2416,3 tys. znajdowało się w miastach, a 3772,7 tys. – na wsiach. W miejscowościach wiejskich przeważały domy wzniesione w latach 1945–1970 (23,0% ogółu), natomiast w miastach – w latach 1979–2002 (30,2%) [14]. Można też zauważyć, w ciągu dekady (2011–2021) zmniejszyła się liczba budynków starszych, tj. wzniesionych do roku 1988 r. Zwiększył się z kolei procentowy udział budynków, które powstały później. Jednakże, przeważająca większość (bo aż 74%) to budynki wybudowane do roku 2002, co oznacza, że zostały zaprojektowane i wzniesione w oparciu o starsze technologie oraz normy (współczynnik przenikania ciepła U – według norm, według obliczeń [15]). To z kolei bezpośrednio przekładało się na ich izolacyjność cieplną, a tym samym na energochłonność. Choć część tych budynków przeszła termomodernizację (bądź to ze środków prywatnych właścicieli, bądź też przy pomocy różnego rodzaju dotacji), jednakże nadal istnieje znaczna liczba budynków, które z różnych powodów nie zostały poddane termomodernizacji, a więc generują one duże straty ciepła i coraz wyższe koszty ogrzewania. Można założyć, że wzrost tych kosztów zmotywują właścicieli budynków do zmniejszenia ich energochłonności, która w zależy od roku budowy, co wyraźnie widać w tabeli 3. Przy czym, wskaźnik energii pierwotnej dotyczy tu wskaźnika energii nieodnawialnej zużytej na ogrzewanie, wentylację i ciepłą wodę użytkową (CWU), z kolei wskaźnik energii końcowej dotyczy energii potrzebnej na ogrzewanie, wentylację i CWU.

Tabela 3. Przeciętne zużycie energii w budynkach bez termomodernizacji, w zależności od roku ich budowy

Rok budowy	Energia pierwotna (kWh/m ² a)	Energia finalna (kWh/m ² a)
przed 1918	>350	>300
1918-1944	300-350	260-300
1945-1970	250-300	220-260
1971-1978	210-250	190-220
1979-1988	160-210	140-190
1989-2002	140-180	125-160
2003-2010	100-150	90-120

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [16]

Jak można zauważyć, istnieje bardzo duża różnica w zapotrzebowaniu na energię cieplną w budynkach wybudowanych w różnych okresach. Oznacza to, że ten czynnik koniecznie trzeba uwzględniać jak przy planowaniu termomodernizacji, tak i przy wyborze pompy ciepła.

3.4. Temperatura zewnętrzna otoczenia

Polska znajduje się w strefie klimatów umiarkowanych, typowej dla tych szerokości geograficznych, w typie ciepłym przejściowym, który charakteryzuje się dużą zmiennością pogody oraz występowaniem sześciu termicznych pór roku [17]. To właśnie uwarunkowania klimatyczne (w tym m.in.

temperatura minimalna i średnia, ale także wielkość nasłonecznienia, usłonecznienia oraz wietrzność), determinują w znacznej mierze, jakie będą przyjęte parametry do obliczania obciążenia cieplnego a w związku z tym – jak zostaną zaprojektowane systemy grzewcze budynków. W Polsce, wyróżnia się obecnie pięć stref klimatycznych (I-V), dla których przyjęte są różne projektowe temperatury zewnętrzne (rys. 1).



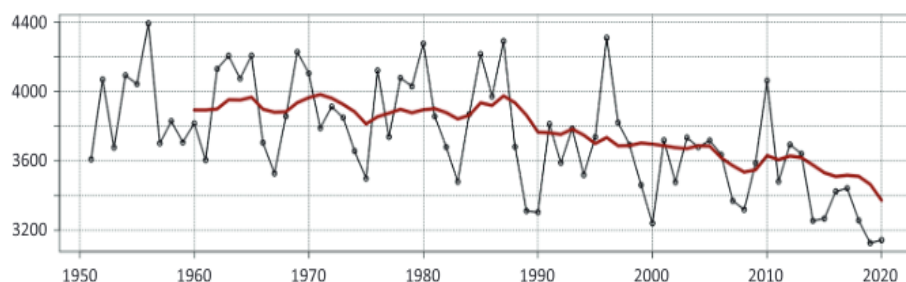
Rys. 1. Mapa Polski z podziałem na strefy klimatyczne
Źródło: [18]

Do każdej ze stref zostały przyporządkowane następujące temperatury zewnętrzne (odpowiednio: projektowa oraz średnia):

- strefa I: -16 °C / 7,7°C;
- strefa II: -18 °C / 7,9°C;
- strefa III: -20 °C / 7,6°C;
- strefa IV: -22 °C / 6,9°C;
- strefa V: -24 °C / 5,5°C.

Zastosowanie powyższej normy (mocno zdezaktualizowanej m.in. przez postępujące zmiany klimatu [19]), w projektowanych obecnie instalacjach grzewczych, spotyka się z krytyką zarówno branży [20], jak i naukowców. Wskazuje się, że niezbędna jest przede wszystkim zmiana wartości przyjętych założeń (zgodnie z aktualizacją danych meteorologicznych), używanych podczas obliczeń, a dotyczących projektowych temperatur [21]. Jednocześnie podkreśla się, że w przyszłości będą następować dalsze zmiany klimatu, które także należy wziąć pod uwagę [22]. Jest to szczególnie istotne w instalacjach centralnego ogrzewania (C.O.) projektowanych do współpracy z pompą ciepła, gdyż nieuwzględnienie rzeczywistych danych spowoduje nieprawidłowe obliczenie parametrów pompy, co z kolei doprowadzi do spadku jej efektywności [23]. Przykładowo, w latach 1961-1970 średnia temperatura w Polsce wynosiła 7,2°C, w okresie 2001-2010 nastąpił wzrost do 8,4°C, a w latach 2011-2020 było to już 9,1°C. Może to oznaczać przyspieszenie zmian klimatu w tym regionie. Na rys. 2 przedstawiono zmiany zapotrzebowania na ogrzewanie

w ciągu pięciu dekad (1951-2020), wyrażone w stopniodniach grzewczych.



Rys. 2. Liczba stopniodni grzewczych w latach 1951-2020 w Polsce

Źródło: [23]

Stopniodni grzewcze oznaczane są jako HDD (Heating Degree Days). Dla danej doby liczba ta jest równa zero, jeśli średnia dobową temperaturę przekracza 15°C , a dla średnich temperatur dobowych niższych od 15°C oblicza się ją jako $18 - T_{\text{sr}}$ (czyli jeśli średnia temperatura danego dnia wynosiła np. 2°C , to w tym dniu liczba stopniodni wyniosłaby $18 - 2 = 16$). Stopniodni w kolejnych dniach sezonu grzewczego są sumowane, dostarczając informacji o zapotrzebowaniu na ciepło w całym sezonie [23].

Jak widać na rys. 2, średnia dla Polski w okresie 1961-1990 wyniosła 3839 stopniodni grzewczych, natomiast już w okresie 2011-2020 wartość ta zmalała o ponad 500 stopniodni (do 3333).

Zatem, istotną kwestią przy wyborze typu i parametrów pompy ciepła jest prognozowanie warunków klimatycznych na przynajmniej najbliższe

kilkanaście a nawet kilkadziesiąt lat. Jest to związane z tym faktem, że w krótszym okresie inwestycja w pompę ciepła może okazać się nieopłacalną.

3.5. Cena energii elektrycznej

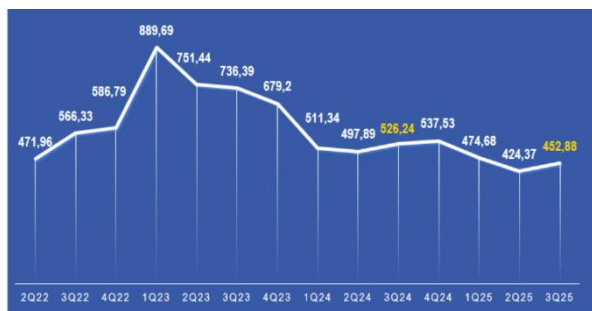
Dane dotyczące wykorzystania nośników energii na cele grzewcze są zbierane przez GUS. Z ostatniego dostępnego raportu wynika, że udział poszczególnych nośników w ciągu ostatniej dekady uległ większym zmianom. Jak widać w tabeli 4, mocno spadło wykorzystanie węgla i drewna jako nośników ciepła, wzrósł natomiast udział energii elektrycznej i gazu. Udział OZE w ciepłownictwie na razie jeszcze nie jest na zadowalającym poziomie, choć udział pomp ciepła wzrósł czterokrotnie.

Tabela 4. Udział gospodarstw domowych wykorzystujących poszczególne nośniki energii do ogrzewania pomieszczeń

Wyszczególnienie	2015	2018	2021	2024
Energia elektryczna	4,5	5,1	5,5	7,0
Ciepło z sieci	41,7	40,4	52,2	44,3
Gaz ziemny	10,1	14	14,6	20,7
Gaz ciekły (propan-butan)	0,3	0,5	0,8	1,2
Olej opałowy	0,4	0,5	0,3	0,2
Węgiel kamienny	40,4	36,5	20,9	17,1
Węgiel brunatny	1,1	0,5	0,4	1,0
Koks	0,8	0,6	0,2	0,3
Drewno opałowe	41,7	28,8	20,7	17,1
Inne rodzaje biomasy	3,0	1,3	2,3	3,9
Energia słoneczna	0,15	0,13	0,4	0,4
Pompa ciepła	0,07	0,28	0,69	2,4

Źródło: [9]

W kontekście korzystania z tych urządzeń do ogrzewania domostw, ważnym nośnikiem jest energia elektryczna zasilająca pompy ciepła. Zatem to ten nośnik energii należy brać pod uwagę przy doborze typu i parametrów pomp. Chodzi nie tylko o wielkość zużywanej energii elektrycznej, lecz również o jej cenę, która w ostatnich latach wykazuje tendencję wzrostową, zresztą jak i inne nośniki energii (z których jest ona wytwarzana). Kształtowanie się cen energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym w latach 2022-2025 pokazano o na rysunku 3.



Rys. 3. Średnia kwartalna cena sprzedaży energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym [zł/MWh]
Źródło: [24]

Choć średnia cena energii nieco spadła w ostatnim okresie w porównaniu do lat 2022-2023 (początek pełnoskalowej wojny w Ukrainie), to jednak w porównaniu do okresu przedwojennego jest to dość odczuwalny wzrost, np. prawie trzykrotny w odniesieniu do roku 2015 [25]. Z tego powodu, przejściowo, rząd stosuje różne formy wsparcia, jak np. dopłaty do zakupu węgla („dodatek węglowy”) [26] czy energii elektrycznej („bon energetyczny”) [27]. W walce z ubóstwem energetycznym podejmuje też inne działania, jak „mrożenie cen” energii elektrycznej czy paliwa gazowego, które z kolei były kilkukrotnie zmieniane. W 2025 roku ceny te były zamrożone [28].

Rządowe programy ochronne jednak nie będą działać zawsze. Zatem wzrost cen nośników energii należy również brać pod uwagę przy wyborze systemu grzewczego dla własnego budynku mieszkalnego. Dobrym rozwiązaniem w przypadku korzystania z pomp ciepła jest instalacja własnych paneli fotowoltaicznych, które będą dostarczać energii elektrycznej na użytek tych urządzeń (pomp ciepła).

4. Podsumowanie i wnioski

Jak wynika z przeprowadzonych badań, wiele czynników może mieć wpływ na koszty energii zużywanej przez pompy, zapewniające komfort cieplny w budynkach mieszkalnych. Zależy on nie tylko od rodzaju i mocy samego urządzenia, lecz również od wielu innych czynników. Na niektóre z nich inwestor może mieć wpływ, jak np. architektura budynku, jego izolacja cieplna czy dostosowanie układu grzewczego. Nie ma natomiast wpływu na warunki atmosferyczne, wymagania środowiskowe czy ceny rynkowe nośników energii. Zatem trafność decyzji odnośnie wyboru pompy ciepła i opłacalności tej inwestycji będzie

zależać od umiejętności kompleksowej analizy najważniejszych czynników wpływu i tworzenia prognoz na przyszłość.

Literatura

- [1]. Firląg S., Piasecki M. NZEB Renovation Definition in a Heating Dominated Climate: Case Study of Poland, *Appl. Sci.* 2018, 8(9), 1605; <https://doi.org/10.3390/app8091605>
- [2]. Pater S., Field measurements and energy performance analysis of renewable energy source devices in a heating and cooling system in a residential building in southern Poland, *Energy and Building*, Vol. 199, 15 September 2019, pp. 115-125. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.06.057>
- [3]. Sewastianik S., Gajewski A. Energetic and Ecologic Heat Pumps Evaluation in Poland. *Energies* 2020, 13, 4980. <https://doi.org/10.3390/en13184980>
- [4]. Chwieduk B., Chwieduk D., Analysis of operation and energy performance of a heat pump driven by a PV system for space heating of a single family house in polish conditions, *Renewable Energy*, Vol. 165, Part 2, March 2021, pp. 117-126. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.026>
- [5]. Ginda G., Iwaszczuk N., Dudek M. Supporting Multi-Attribute, Non-Compensating Selection of the Right Heat Pump Device for a Residential Building, Considering the Limited Availability of the Necessary Resources. *Energies* 2022, 15, 5478. <https://doi.org/10.3390/en15155478>
- [6]. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 4 listopada 2025 r. w sprawie warunków technicznych dla budowli ochronnych oraz warunków technicznych ich użytkowania i usytuowania, <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20250001548>, dostęp 20.02.2026
- [7]. Bućko D. Nowe Warunki Techniczne 2026 – co zmieni się dla inwestorów po nowelizacji?, <https://www.extradom.pl/porady/artikul-warunki-techniczne-2026-poradnik-dla-inwestora-i-aktualnosci>, dostęp 20.02.2026
- [8]. Czyste powietrze, <https://czystepowietrze.gov.pl/> Dostęp 05.07.2025
- [9]. Zużycie energii w gospodarstwach domowych w 2024 r., GUS 09.01.2026, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/energia/zuzycie-energii-w-gospodarstwach-domowych-w-2024-r-12,3.html>, dostęp 20.02.2026
- [10]. Węgiel i drewno tracą. Oto czym Polacy coraz częściej ogrzewają domy, <https://www.money.pl/gospodarka/wegiel-i-drewno-traca-oto-czym-polacy-coraz-czesciej-ogrzewaja-domy-7241559748561408a.html>, dostęp 21.02.2026
- [11]. Wolff D., Teuber P., Budde J., Jagnow K. Felduntersuchung: Betriebsverhalten von Heizungsanlagen Gas-Brennwertkesseln, Wolfenbuttel, April 2004,

- <https://opac.dbu.de/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-14133.pdf>, dostęp 05.07.2025
- [12]. PN EN 303-5:2012 Kotły grzewcze na paliwa stałe z ręcznym i automatycznym zasypem paliwa o mocy nominalnej do 300 kW. Terminologia, wymagania, badania i oznakowanie, dostęp 05.07.2025
- [13]. Foit M. Kotły węglowe na 5. Klasa w teorii i praktyce, 26.01.2016, <https://instalreporter.pl/ogolna/kotly-weglowe-na-5-klasa-w-teorii-i-praktyce/>, dostęp 05.07.2025
- [14]. Warunki mieszkaniowe w Polsce w świetle wyników Narodowego Spisu Powszechnego Ludności i Mieszkań 2021, GUS 2023, <https://stat.gov.pl/spisy-powszechne/nsp-2021/nsp-2021-wyniki-ostateczne/warunki-mieszkaniowe-w-polsce-w-swietle-wynikow-narodowego-spisu-powszechnego-ludnosci-i-mieszkancow-2021,5,2.html>, dostęp 05.07.2025
- [15]. Obliczanie współczynnika przenikania ciepła, <https://www.rockwool.com/pl/inspiracje-baza-wiedzy/baza-wiedzy/efektywnosc-energetyczna/obliczanie-wspolczynnika-przenikania-ciepala/>, dostęp 05.07.2025
- [16]. Firląg S., Piasecki M. NZEB Renovation Definition in a Heating Dominated Climate: Case Study of Poland, *Appl. Sci.* 2018, 8(9), 1605; <https://doi.org/10.3390/app8091605>, dostęp 05.07.2025
- [17]. Duniec G. Pory roku okiem astronoma, meteorologa i agrometeorologa, *Centrum Modelowania Meteorologicznego* 20.03.2024, https://modele.imgw.pl/?page_id=40550, dostęp 05.07.2025
- [18]. PN-EN 12831:2006. Instalacje ogrzewcze w budynkach – Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego, dostęp 05.07.2025
- [19]. Narowski P. Ewolucja kryteriów wyboru i wartości temperatury obliczeniowej powietrza zewnętrznego dla ogrzewnictwa w Polsce, *Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce*, tom VI, Nr 3, 2011, s. 61-67, <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-988bcc40-51cf-49f0-8a8e-e878b45cdb39/c/Narowski.pdf>
- [20]. Zmiany klimatu w Polsce wymagają zmian w projektowaniu systemów ogrzewania i klimatyzacji, 07.03.2024, <https://dobrymontaz.com/zmiany-klimatu-w-polsce-wymagaja-zmian-w-projektowaniu-systemow-ogrzewania-i-klimatyzacji/>, dostęp 05.07.2025
- [21]. Projekty SKP2000 i TLM2000 – zmiany klimatu w Polsce wymagają zmian w projektowaniu systemów HVAC, <https://portpc.pl/projekty-skp2000-i-tlm2000%E2%88%92zmiany-klimatu-w-polsce-wymagaja-zmian-w-projektowaniu-systemow-hvac/>, dostęp 23.02.2026
- [22]. Bazazzadeh H., Pilechiha P., Nadolny A., Mahdaveinejad M., Hashemi Safaei S.s. The Impact Assessment of Climate Change on Building Energy Consumption in Poland. *Energies* 2021, 14, 4084. <https://doi.org/10.3390/en14144084>
- [23]. Lachman P., Dżaków P. Zmiany klimatu i ich wpływ na projektowanie instalacji c.o. z pompami ciepła w budynkach, *PORT PC* 2021, https://portpc.pl/pdf/9kongres/materialy/2021_Poradnik_Zmiany_klimatu.pdf, dostęp 05.07.2025
- [24]. Wzrost cen energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym za trzeci kwartał 2025 r., URE, <https://www.ure.gov.pl/pl/urzad/informacje-ogolne/aktualnosci/13005,Wzrost-cen-energii-elektrycznej-na-rynku-konkurencyjnym-za-trzeci-kwarta-2025-r.html>, dostęp 23.02.2026
- [25]. Średnia cena energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym, URE, <https://www.ure.gov.pl/pl/energia-elektryczna/ceny-wskazniki/7852,Srednia-cena-sprzedazy-energii-elektrycznej-na-rynku-konkurencyjnym-roczna-i-kwa.html>, dostęp 23.02.2026
- [26]. Ustawa z dnia 5 sierpnia 2022 r. o dodatku węglowym, <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20220001692>, dostęp 05.07.2025
- [27]. USTAWA z dnia 23 maja 2024 r. o bonie energetycznym oraz o zmianie niektórych ustaw w celu ograniczenia cen energii elektrycznej, gazu ziemnego i ciepła systemowego https://orka.sejm.gov.pl/proc10.nsf/ustawy/346_u.htm, dostęp 05.07.2025
- [28]. Zamrożenie cen prądu zostało przedłużone do końca 2025 roku, PGE <https://www.gkpge.pl/dla-domu/zamrozenie-cen-pradu-w-2025-roku>, dostęp 23.02.2026

Streszczenie

Artykuł poświęcono badaniom kluczowych czynników wywierających wpływ na decyzje inwestorów pod względem wyboru najbardziej opłacalnego źródła energii cieplnej dla budynku mieszkalnego. Zwrócono uwagę zarówno na te czynniki, które inwestor może modyfikować oraz na czynniki zewnętrzne, które pozostają poza sferą wpływu użytkowników pomp ciepła. Badania wykazały, że do najważniejszych z nich zaliczyć można: izolację termiczną budynku, technikę ogrzewania gospodarstwa domowego, sprawność systemu grzewczego w budynku, potencjalną temperaturę zewnętrzną w danej lokalizacji, cenę energii elektrycznej. Uwzględnienie powyższych czynników oraz prognoz ich zmian umożliwi dokonania bardziej opłacalnego wyboru pompy ciepła.

Słowa kluczowe: pompy ciepła, podejmowanie decyzji inwestycyjnych, energia cieplna, źródła energii, surowce energetyczne, ceny nośników energii, opłacalność inwestycji

Identification of factors influencing the selection of a heat pump

Abstract

This article examines the key factors that influence investors' decisions regarding the most cost-effective thermal energy source for residential buildings. Attention is paid to both factors that can be modified by the investor and external factors that are beyond the control of heat pump users. Research has shown that the most important factors include: the building's thermal insulation, the household's heating technology, the efficiency of the building's heating system, the potential outdoor temperature in a given location, and the price of electricity. Considering these factors and forecasting their changes will enable a more cost-effective heat pump selection.

Keywords: heat pumps, investment decision-making, thermal energy, energy sources, energy resources, energy prices, investment profitability

Badania zostały sfinansowane z subwencji na rozwój potencjału badawczego Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki i Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie

Uwarunkowania rozwoju globalnego rynku miedzi

1. Wprowadzenie

Na przestrzeni lat rynek miedzi był przedmiotem wielu dociekań naukowych. Badano m.in. kształtowanie się popytu na miedź (w krótszym i dłuższym okresie) w krajach Unii Europejskiej [1], w Chinach [2] oraz na rynku globalnym [3, 4]. Badano też kształtowanie się podaży tego surowca, z uwzględnieniem: obniżenia jakości rudy [5] czy zmian technologicznych w jego produkcji [6]. W kolejnych publikacjach poszukiwano odpowiedzi na pytania: Czy recykling może być istotnym źródłem pokrycia rosnącego zapotrzebowania na ten surowiec? [7, 8]; Jakie będą skutki środowiskowe przy zwiększeniu wydobycia miedzi? [9, 10]. Weryfikacja zależności pomiędzy trzema rynkami handlującymi miedzią (tj. SHFE, LME i COMEX) stała się przedmiotem badań w publikacjach [11-13]. W wymienionych publikacjach autorzy skupiali się na konkretnym problemie dotyczącym rynku miedzi. Jednak zabrakło badań skupionych na czynnikach, które wpływają na globalny handel miedzią.

Celem niniejszej publikacji jest zbadanie jakie czynniki kształtują współczesny rynek miedzi i jak to wpływa na jego przyszły rozwój. Aby zrealizować postawiony cel zastosowano metodę kompleksowej analizy danych zastanych oraz krytyczny przegląd literatury przedmiotu.

2. Miedź strategicznym surowcem mineralnym dla gospodarki

Miedź jest jednym z trzech najbardziej użytecznych metali na świecie, zaraz po żelazie i aluminium. Szerokie zastosowanie zawdzięcza swoim właściwościom, takim jak ciągliwość oraz plastyczność, które umożliwiają formowanie jej w dowolne kształty. Miedź jest wykorzystywana w stopach cynku i cyny, z którymi tworzy odpowiednio mosiądz i brąz. Stopy te są trwalsze od czystej miedzi, jednocześnie zachowując jej właściwości [14].

2.1. Popyt ze strony poszczególnych branż

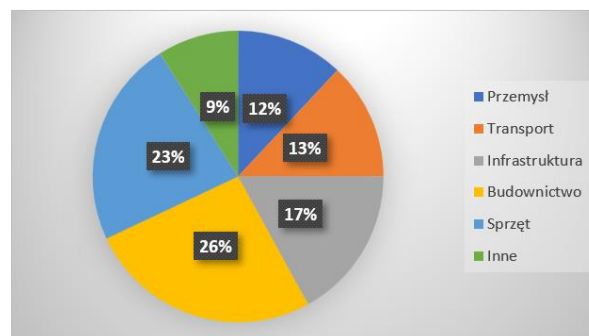
Surowiec ten charakteryzuje się doskonałą przewodnością elektryczną oraz cieplną, co czyni go idealnym materiałem do produkcji wszelkich urządzeń

elektrycznych, elektronicznych oraz grzewczych. Popyt ze strony branży elektrycznej oraz elektronicznej obejmuje między innymi silniki, transformatory, przewody elektryczne, złącza i styki, płytki drukowane PCB, podzespoły elektroniczne, generatory oraz wiele innych.

Obecnie każda gospodarka świata wykorzystuje znaczne ilości tego metalu i nic nie wskazuje na to, aby w najbliższym czasie miało to się zmienić [4].

W budownictwie miedź znajduje zastosowanie zarówno na zewnątrz, w postaci pokryć dachowych, rynien oraz do produkcji innych elementów, jak i w instalacjach wewnętrznych – centralnego ogrzewania, rurociągach, klimatyzacji, oświetleniu itp. Znaczną część pochłania także sektor motoryzacyjny – surowiec ten jest podstawowym składnikiem silników, okablowania, chłodziw, złączy, hamulców i łożysk używanych w samochodach osobowych i ciężarowych. Stanowi też istotną część analogicznego wykorzystania w pozostałych środkach transportu, takich jak pociągi i samoloty. Przeciętny samochód zawiera ok. 1,5 km przewodu miedzianego, a całkowita ilość tego metalu waha się od 20 kg w małych samochodach, aż do 45 kg w samochodach luksusowych i hybrydowych [15].

Inne zastosowania miedzi to przemysł maszynowy (maszyny, urządzenia, podzespoły czy elementy), mennictwo (zwykle w połączeniu z innymi metalami) oraz przedmioty użytku domowego i jego wyposażenie (blaty kuchenne, umywalki, stoły, naczynia itp.). Obecnie każda gospodarka świata wykorzystuje znaczne ilości tego metalu i nic nie wskazuje na to, aby w najbliższym czasie miało to się zmienić [4]. Strukturę popytu na ten surowiec, w zależności od sektora prezentuje rys. 1.

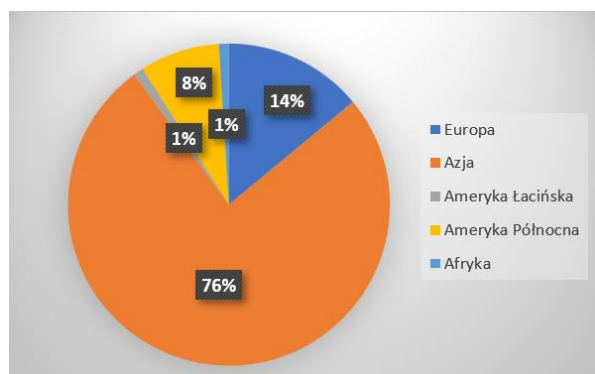


Rys. 1. Struktura zużycia miedzi w przekroju sektorowym (dane za rok 2024)
Źródło: opracowanie własne na podstawie [16]

Według danych z 2024 roku, najczęściej tego metalu wykorzystuje się do produkcji sprzętu i w budownictwie. Następnie plasują się: infrastruktura, transport i przemysł.

2.2. Zużycie miedzi w regionach świata

Zużycie surowca zależy również od tego, jak bardzo region jest zaludniony. Wielkość zapotrzebowania na miedź w przekroju regionalnym prezentuje rys. 2. Jak widać najczęściej tego surowca używają kraje azjatyckie, na drugim i trzecim miejscu



plasują się kraje europejskie i amerykańskie – z ponad 3-krotnie niższym zużyciem sumarycznym.

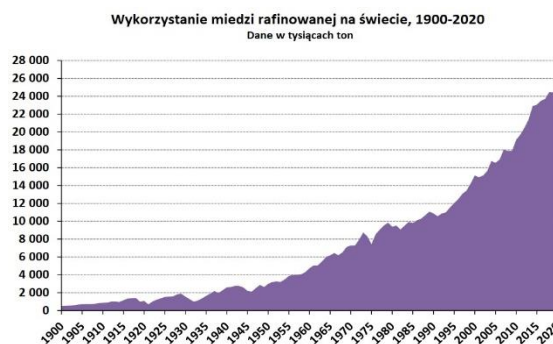
Rys. 2. Struktura zużycia miedzi w podziale na regiony (dane za rok 2024)
Źródło: opracowanie własne na podstawie [16]

Wzrost populacji ludności (zwłaszcza w krajach azjatyckich), polepszający się dobrobyt życia, coraz szerzej zakrojona urbanizacja oraz postęp technologiczny skutkują znacznym wzrostem zapotrzebowania na zasoby wszelkiego rodzaju. W przypadku niektórych z nich popyt rośnie szybciej niż w przypadku innych. Miedź jest właśnie takim surowcem, znajduje bowiem zastosowanie w prawie każdym sektorze gospodarczym. Ponieważ nie przewiduje się, aby działanie czynników napędzających popyt na miedź osłabło w ciągu najbliższych dziesięcioleci, oczekiwany jest dalszy, znaczny wzrost popytu na ten metal.

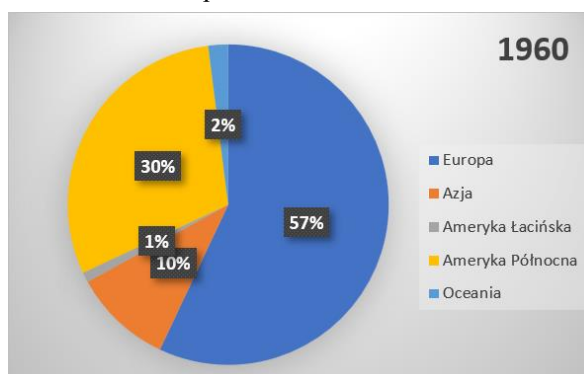
2.3. Zmiany regionalnego popytu w czasie

Zapotrzebowanie na miedź nie jest równomiernie rozłożone w przestrzeni i czasie. Jak wynika z raportu The World Copper Factbook 2021 [17] w ciągu ostatnich 120 lat (1900-2020) globalny popyt na miedź rafinowaną wzrósł ponad sześciokrotnie (z 4 mln Mg do 25 mln Mg) (rys. 3).

Rys. 3. Światowe wykorzystanie miedzi rafinowanej w latach 1900-2020
Źródło: opracowanie własne na podstawie [17]

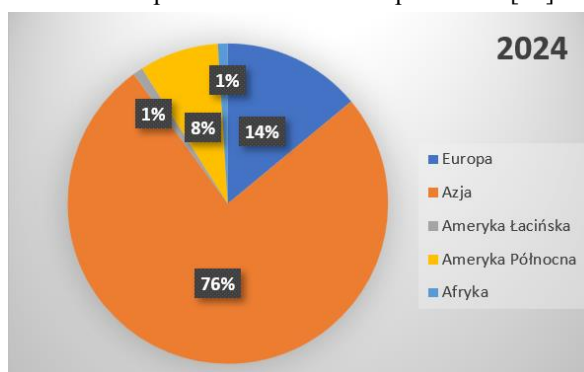


Zmianom uległy również wielkości popytu ze strony poszczególnych regionów świata, nawet w krótszej perspektywie czasowej. W 1960 roku to Europa odpowiadała za blisko 57% globalnego popytu na miedź, a Ameryka Północna za kolejne 30% (rys. 4). Natomiast w 2024 roku sytuacja wyglądała już zgoła inaczej: udział Starego Kontynentu spadł ponad czterokrotnie – do zaledwie 14%, a Ameryki Północnej prawie czterokrotnie – z wcześniejszych 30% do zaledwie 8%. Regionem, który wygenerował większość popytu stała się Azja, gdzie zapotrzebowanie na ten surowiec wzrosło ponad siedmiokrotnie – z 10% aż do



76% (rys. 5). Inne regiony w tym względzie miały marginalne znaczenie.

Rys. 4. Struktura popytu na miedź w zależności od regionu w roku 1960
Źródło: opracowanie własne na podstawie [16]



Rys. 5. Struktura popytu na miedź w zależności od regionu w roku 2024
Źródło: opracowanie własne na podstawie [16]

Oznaczać to może pewne nasycenie tym surowcem rynków w krajach rozwiniętych, kosztem wzrostu zużycia w krajach rozwijających się. Potwierdzają to dane z roku 2014, z których wynika, że im bardziej rozwinięty gospodarczo był kraj (wyrażany poprzez wyższe PKB per capita), tym niższe było w nim zużycie miedzi przypadające na jednego mieszkańca [19]. Podobne obserwacje dotyczą także zmian w zachowaniach popytowych, a związanych z konkretną gospodarką, np. USA, gdzie wraz ze wzrostem PKB (per capita), stabilizowało lub wręcz zmniejszało się zużycie miedzi, w przeliczeniu na jednego mieszkańca [20].

Najnowsze dane z Raportu International Copper Study Group za 2024 rok [16] również potwierdzają wspomnianą zależność. Przykładowo, intensywność zużycia miedzi w USA – kraju o najwyższym wskaźniku PKB per capita – jest ponad 15-krotnie niższe niż w Chinach – kraju o 4-krotnie niższym PKB per capita. Z ogólnego trendu wyłamują się tylko Zjednoczone Emiraty Arabskie, gdzie obydwa wskaźniki są dość wysokie.

Jest to istotna zmiana, gdyż jeszcze do około 2000 roku to kraje o wysokich dochodach (Unia Europejska, Stany Zjednoczone, Japonia) były głównymi beneficjentami wzrostów zużycia miedzi per capita. Dopiero w kolejnym okresie nastąpiła stabilizacja na poziomie ok. 180 kg na mieszkańca. W tym samym okresie kraje o rosnących dochodach (per capita), takie jak Chiny czy Indie, doświadczyły znaczącego przyrostu, jednak ich poziom nadal pozostaje dużo niższy; w Chinach jest to w przybliżeniu połowa wielkości zużycia krajów o wysokich dochodach, a w Indiach na jednego mieszkańca przypada jeszcze mniej, bo zaledwie ok. 10 kg tego metalu [9].

Obserwując trendy można oczekiwać, że w przyszłości kraje te mogą istotnie wpływać na zapotrzebowanie tego surowca za sprawą wzrostu PKB, znaczącymi dysproporcjami w porównaniu z krajami o wysokich dochodach a jednocześnie ze względu na ogromną i dynamicznie rozrastającą się populację, która w dłuższej perspektywie prognozowania będzie potrzebowała coraz więcej towarów i usług. Biorąc pod uwagę szybką industrializację Chin, która nastąpiła w ostatnich latach, rozwój gospodarczy Indii oraz innych regionów, które pójdą w ich ślady w średnim okresie prognozowania (np. Ameryka Południowa, Afryka), można postawić hipotezę, że popyt na ten surowiec mineralny będzie nadal wysoki, z tendencją wzrostową jeszcze przez wiele dziesięcioleci [5].

Jeszcze jedną przyczyną dominacji krajów azjatyckich pod względem popytu na miedź jest wzrost demograficzny w tych krajach oraz tania siła robocza, będąca pochodną demografii. W rezultacie wiele firm przemysłowych przeniosło swoją produkcję z krajów rozwiniętych (droga siła robocza) do krajów rozwijających się (tania siła robocza). Taki proces jest naturalny nie tylko dla miedzi, lecz również dla innych branż pragnących obniżyć koszt robocizny. Ten trend może jednak ulec zmianie z powodów utrudniających dostawy zarówno surowców (w tym też energetycznych) jak i gotowej produkcji.

2.4. Polityka surowcowa Chin względem miedzi

Już od wielu lat Chiny zużywają najwięcej miedzi ze wszystkich krajów świata, jednak obecne szacunki mówią, że w roku 2020 odpowiadały aż za 54% całkowitego zużycia tego surowca na świecie [21]. Dynamiczny przyrost konsumpcji tego metalu widoczny jest zarówno jako udział procentowy, jak i w liczbach bezwzględnych: o ile w 2002 roku chińska gospodarka zużyła 2,6 mln Mg miedzi, tj. jej globalny udział wyniósł 17%, o tyle w roku 2016 wartości te wynosiły odpowiednio 8,4 mln Mg, czyli 46% globalnego rynku [2]. Znaczna część tego popytu nie jest jednak przeznaczona jedynie na potrzeby własne, lecz do produkcji towarów na eksport, co także dość istotnie zmienia ten podział.

W 2020 roku globalna produkcja półwyrobów miedzi i półwyrobów ze stopów miedzi wyniosły odpowiednio 24,8 mln Mg i 4,0 mln Mg, z czego aż za 80% rynku półwyrobów miedzi odpowiadały Chiny. Jednocześnie Stany Zjednoczone, Niemcy i Japonia były głównymi producentami półwyrobów ze stopów, co nie zmienia faktu, iż to Chiny są nadal krajem o największym zapotrzebowaniu na zasoby miedzi. Aby zaspokoić tak znaczący popyt, Chiny w dużej mierze opierają się na imporcie, który uzupełniany jest za pomocą produkcji krajowej i recyklingu złomu miedzi. W 2016 roku ogólna zależność zewnętrzna Chin od miedzi osiągała 64,5% [8]. Ostatnie dane z 2024 roku potwierdzają powyższe tezy, gdyż Chiny pozostają w czołówce krajów zarówno eksportujących półwyroby miedziane (drugie miejsce), jak i krajów je importujących (czwarte miejsce) [16].

2.5. Prognozowanie popytu na miedź

Prognozowanie jest bardzo ważne w każdej branży gospodarczej, pozwala bowiem budować strategię rozwoju i planować działalność na wiele lat do przodu. Nie inaczej jest też w przypadku przyszłego zapotrzebowania na miedź.

Przeprowadzone badania wskazują, że zakładane scenariusze szacują skumulowane zapotrzebowanie na rudę miedzi do roku 2050 maksymalnie na 1240 mln Mg, co jest znacznie poniżej obecnie zidentyfikowanych zasobów 3035 mln Mg zawierających Cu. W praktyce dane o zasobach prawdopodobnie wykażą wzrost w czasie, ponieważ firmy wydobywcze przyjmują podejście polegające na wydobywaniu części złoża, bez określania pełnego jego zasięgu. Wykazano, że od 1950 roku konsekwentnie utrzymuje się średnio 40 lat rezerw i 200 lat zasobów, co pozwala założyć, że naturalne zasoby miedzi nie ulegną fizycznemu wyczerpaniu w ciągu najbliższych kilkudziesięciu lat [9]. Prognozy pokazują, że popyt na Cu może przekroczyć 35 mln Mg rocznie do 2030 r., jednocześnie eksperci spodziewają się, że do 2050 r. globalny popyt na Cu wzrośnie od 60% do nawet 300% w porównaniu do roku 2014 [6].

Jak widać wszystkie przytoczone prognozy zakładają wzrost popytu na ten surowiec mineralny, co

oznacza, że miedź nadal będzie odgrywała ważną rolę w gospodarce i należy liczyć się z jej ewentualnym deficytem oraz wzrostem cen w przyszłości.

3. Globalna podaż miedzi

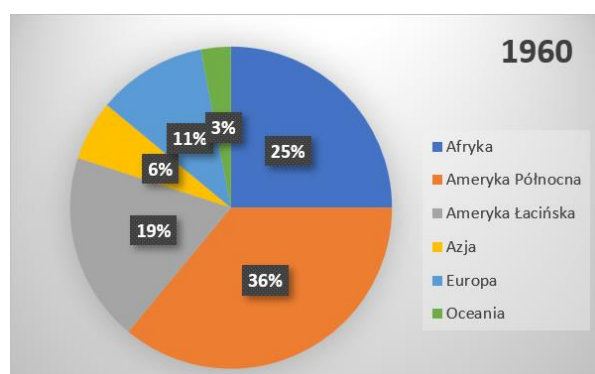
Miedź ma tę ważną cechę, że nie zużywa się w całości w czasie jej użytkowania, a więc może być wykorzystywana wielokrotnie do produkcji kolejnych wyrobów. Zatem można mówić o podaży surowca pierwotnego i wtórnego. Pierwotny surowiec powstaje w efekcie wydobywania rudy i jej obróbki celem uzyskania metalu przemysłowego, natomiast wtórny jest efektem selektywnej zbiórki odpadów i ich recyklingu.

3.1. Podaż miedzi pierwotnej

Zasoby i wydobywanie w regionach świata

Dostępność surowców mineralnych w przyszłości jest oceniana na podstawie dwóch wartości – rezerw i zasobów. Rezerwy to złoża, które zostały odkryte, oszacowane i ocenione jako ekonomicznie opłacalne, zasoby zaś obejmują nie tylko rezerwy, lecz również potencjalnie opłacalne złoża odkryte (zidentyfikowane) oraz nieodkryte złoża, które zostały jedynie oszacowane na podstawie wstępnych badań geologicznych.

Według szacunków United States Geological Survey (USGS), w 2024 roku globalne wydobywanie wyniosło 23 mln Mg, przy możliwościach produkcyjnych kopalń sięgających nawet 28 mln Mg, natomiast rezerwy miedzi sięgały około 980 mln Mg. Wielkość zidentyfikowanych i nieodkrytych zasobów miedzi oszacowano w 2015 roku na około 2100 mln Mg i 3500 mln Mg, odpowiednio. Jednak ta ostatnia wartość nie uwzględnia dużych ilości miedzi znajdujących się w konkr. głębinowych oraz w masowych siarczach lądowych i podwodnych. Co ciekawe, największe zidentyfikowane zasoby znajdowały się w Ameryce Południowej (38%) i Ameryce Północnej (24%). Jeśli chodzi o nieodkryte zasoby, to do wymienionych liderów (z udziałem 21%

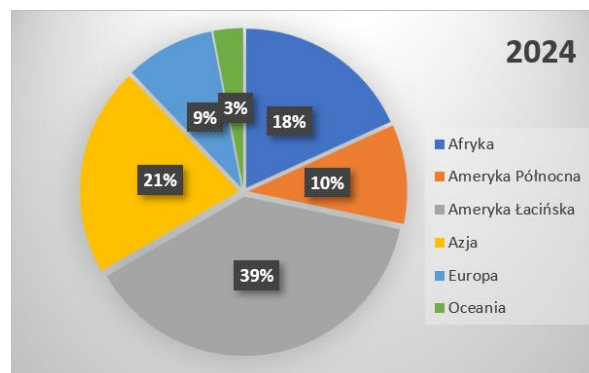


i 13%, odpowiednio) należy dołączyć Azję Centralną i Wschodnią (14%) oraz Azję Południową (12%) [16].

Rys. 6. Udział poszczególnych regionów świata w wydobywaniu miedzi w 1960 roku

Źródło: opracowanie własne na podstawie [16]

Rys. 7. Udział poszczególnych regionów świata w wydobywaniu miedzi w 2024 roku

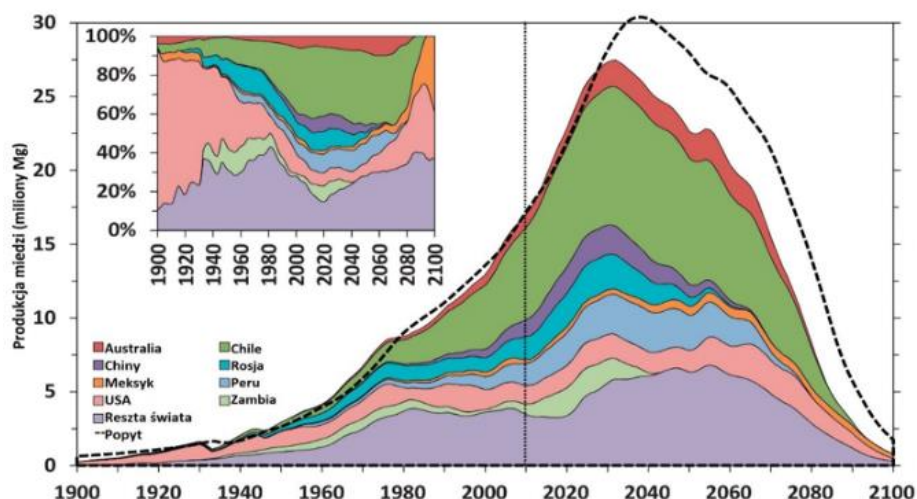


Źródło: opracowanie własne na podstawie [16]

Generalnie światowa produkcja miedzi wykazuje silny trend wzrostowy (ok. 3,14% rocznie) – o ile w 1900 roku było to niespełna 500 tys. Mg, to w 2024 roku wyprodukowano już 23 mln Mg. Liderem wzrostu okazała się Ameryka Łacińska, gdzie produkcja wzrosła z niecałych 750 tys. Mg w 1960 roku do 8,8 mln Mg w 2024 roku, co stanowi obecnie 38% globalnej produkcji. Azja również odnotowała znaczący wzrost, a jej udział w globalnej produkcji górniczej w tym samym okresie wzrósł z 6% do 21%, spadł natomiast ponad trzykrotnie (z 36% do 10%) udział Ameryki Północnej (rys. 6-7). Wśród krajów prym wiodły Chile (z produkcją ok. 55 mln Mg), za którymi uplasowały się kolejno Kongo (ok. 32 mln Mg), Peru (ok. 27 mln Mg) i Chiny (ok. 18 mln Mg) [16].

Prognozy wydobywania miedzi

Choć prognozowanie wydobywania kopalin i produkcji metali jest procesem skomplikowanym i niedokładnym, to niektórzy naukowcy podejmują się takiego wyzwania. Tak, przykładowo autorzy publikacji [5] uważają, że maksimum wydobywania przypadać może na lata 2030-2040 (peak copper), przy czym w ok. 50% pochodzić będzie z zaledwie dwóch krajów – Chile oraz Peru. Na rys. 8 zaprezentowano dane historyczne oraz prognozę (od 2014 roku) dotyczące produkcji tego surowca w latach 1900-2100.



Rys. 8. Najwięksi producenci miedzi, okres 200-letni (mln Mg)

Źródło: opracowanie własne na podstawie [5]

Taki stan rzeczy w przyszłości może wpływać na cenę tego surowca w sytuacji, gdy przy wzroście popytu te kraje zdecydują się na wprowadzenie takiej polityki cenowej, jaką prowadzą np. kraje OPEC+ w odniesieniu do ropy naftowej. Warto dodać, że KGHM Polska Miedź S.A. produkuje ok. 500 tys. Mg miedzi rocznie, co daje Polsce miejsce tuż poza pierwszą dziesiątką. Rozpatrując z kolei podział na pojedyncze przedsiębiorstwa, KGHM zajmuje już miejsce ósme [22].

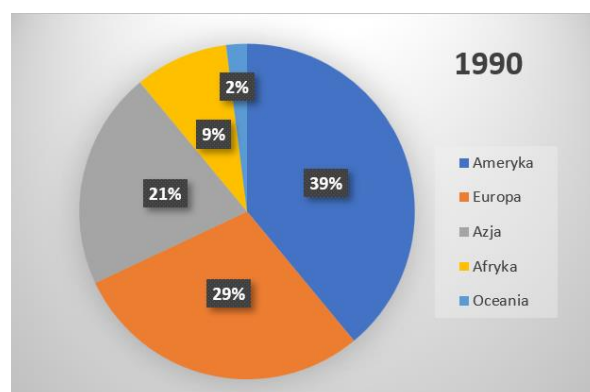
Oczywiście, dalsze wykorzystanie miedzi uzależnione będzie od wielu czynników, w tym od jej ceny rynkowej, czyli de facto kosztów wydobycia i recyklingu – a te mogą rosnąć wraz z trudniejszym pozyskiwaniem tego kruszcu lub jego odzysku. Z drugiej strony, już wielokrotnie okazywało się, że nowo odkryte złoża umożliwiały dostęp do kolejnych zasobów, które przesunęły wspomniany szczyt wydobycia o kolejne lata [5]. Przykładowo, w ciągu trzech ostatnich dekad (1990–2020) zidentyfikowano 229 nowych złóż miedzi, zawierających 1,12 mld Mg miedzi w rezerwach, zasobach i dotychczasowej produkcji [23].

Należy również mieć na uwadze prawdopodobieństwo tego, że w przyszłości koszt przetworzenia gorszej jakości rudy ze złóż będzie wyższy, z powodu wyczerpywania się bogatych zasobów rudy oraz większej energochłonności i czasochłonności procesu. W rezultacie spadnie dostępność tego surowca a wzrośnie jego cena. Taka sytuacja wymusi konieczność uzupełnienia zasobów miedzi ze źródeł wtórnych.

3.2. Produkcja w hutach – miedź pierwotna

Produkcja miedzi pierwotnej może odbywać się na dwa sposoby: jako przetwarzanie koncentratu rudy miedzi w procesach pirometalurgicznych lub metodą rafinacji elektrolitycznej. Procesy te wymagają spalania surowców energetycznych i/lub wykorzystania energii elektrycznej. Globalna produkcja miedzi w hutach na

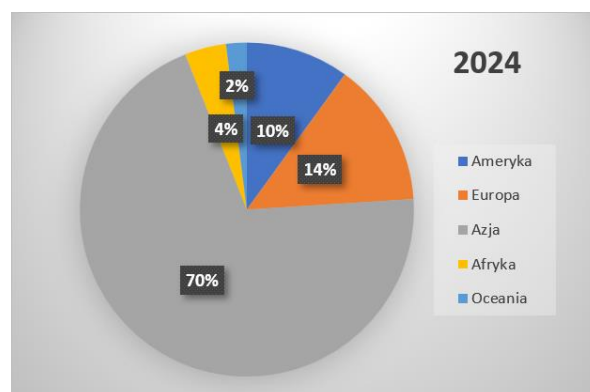
przebiegu ostatnich 34 lat wzrosła z 9,7 mln Mg do 23,3 mln Mg. Spektakularnie wzrósł też udział Azji (za sprawą dynamicznego wzrostu produkcji hutniczej w Chinach) w globalnej produkcji miedzi i wyniósł 70% w 2024 roku, w porównaniu do 21% w roku 1990, spadł gwałtownie natomiast udział obu Ameryk (z 39% do



10%) oraz Europy (z 29% do 15%) (rys. 9-10) [16].

Rys. 9. Udział regionów świata w produkcji miedzi w hutach w roku 1990

Źródło: opracowanie własne na podstawie [16]



Rys. 10. Udział regionów świata w produkcji miedzi w hutach w roku 2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie [16]

Głównym produktem handlowym hut miedzi jest miedź rafinowana, której produkcja w 2024 roku sięgnęła 27,5 mln Mg w skali świata. Wprowadzenie technologii ekstrakcji rozpuszczalnikowej i elektrolizy (SX-EW) podniosło poziom miedzi rafinowanej z rud ługowanych z mniej niż 1% globalnej produkcji pod koniec lat 60. XX wieku do 17,4% w 2024 roku. Pierwotna produkcja rafinowana (z koncentratów) stanowiła 65,5%, a produkcja wtórna 17,1%. Przy czym, w przeciągu ostatnich 34 lat (1990-2024) udział Azji w globalnej produkcji miedzi rafinowanej gwałtownie wzrósł dzięki Chinom, z 19% w 1990 roku do dominującego poziomu 61% w 2024 roku, odzwierciedlając ich rosnący wpływ na przemysł miedziowy. Z kolei udział obu Ameryk gwałtownie spadł z 39% do zaledwie 14% w tym samym okresie, jak również udział Europy (z 32% do 13%). Afryka natomiast odnotowała niewielki wzrost (z 7% do 10%). W 2024 roku Chiny nadal pozostawały największym producentem miedzi rafinowanej na świecie, z produkcją na poziomie 12,4 mln Mg, co stanowiło 45% całkowitej globalnej produkcji, wspieranej zarówno przez rafinację pierwotną, jak i wtórna. Na podium znalazły się też: Demokratyczna Republika Konga – drugie miejsce z produkcją (w całości opartą na SX-EW) na poziomie 2,6 mln Mg i udziałem 9%; Chile – trzecie miejsce z produkcją (łącznie rafinację pierwotną i SX-EW) na poziomie 1,9 mln Mg i udziałem 7%. Stanem na koniec 2024 roku globalne moce przerobowe miedzi osiągnęły 32,6 mln Mg, na co składało się 80% rafinacji elektrolitycznej, 18% elektrolitycznego wydobycia miedzi i 2% rafinacji ogniowej. Oczekuje się, że w perspektywie do 2028 roku moce te będą rosły w tempie skumulowanego rocznego wzrostu na poziomie 3,8%, głównie dzięki nowym i rozbudowanym rafineriom elektrolitycznym. Wskaźnik wykorzystania mocy przerobowych (stosunek produkcji do zdolności przerobowej) odnotowany w 2024 roku wyniósł 84,3% [16].

Ważnym czynnikiem kształtującym rynek miedzi jest wartość nośników energii pierwotnej, jak również energii wtórnej w postaci elektryczności czy ciepła. Ilość energii zużytej do produkcji tego metalu zależy od zawartości tego pierwiastka w rudzie. Niestety w ostatnich latach obserwuje się ciągłe zmniejszenie jego zawartości: jeśli na początku XX wieku ilość miedzi w rudzie wahała się w granicach 1,5% – 4% Cu, to już w 2010 roku wynosiła zaledwie 0,62% Cu (globalna średnia). Oznacza to, że w przypadku ubogich gatunków rudy etapy wydobycia i przetwarzania mogą być bardziej energochłonne niż wytopianie, biorąc pod uwagę pełny cykl życia rafinowanej miedzi. Z kolei, w przypadku rud o wysokiej zawartości Cu ($\geq 3,0\%$), to wytopianie i rafinacja może być najbardziej energochłonnym etapem, mającym kluczowe znaczenie z punktu widzenia wpływu cyklu życia na środowisko. Według danych uzyskanych z KGHM Polska Miedź SA energochłonność poszczególnych procesów (w procentach, średnia za lata 2003–2013) kształtowała się następująco: wydobycie – 36%; wytopianie i rafinacja – 34%; przetwarzanie – 30% [6]. Dlatego tak ważna jest kwestia cen na rynku surowców energetycznych.

3.3. Podaż miedzi wtórnej

Kwestie środowiskowe i GOZ

W przyszłej produkcji miedzi coraz bardziej istotną rolę będą odgrywały również kwestie środowiskowe. Po pierwsze, wiele krajów skupia się na transformacji energetycznej w oparciu o odnawialne źródła energii (OZE) i energooszczędne rozwiązania technologiczne. Po drugie, rządy tych krajów rozumieją zagrożenie związane z wyczerpywaniem się zasobów mineralnych, więc podejmują działania na rzecz wdrażania idei gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ).

Rozważmy przykładowo, produkcję czystej katody Cu. Proces składa się z takich etapów: wydobycie, zagęszczania rud, wytopianie i rafinacja elektrolityczna. Wszystkie te etapy wymagają energii, czy to w postaci elektryczności, materiałów wybuchowych, paliw węglowodorowych (olej napędowy, gaz ziemny, olej opałowy, węgiel i koks), czy też w postaci energii zawartej w zużytych materiałach (np. chemikalia). Około 7–8% światowej produkcji energii pierwotnej zużywa sektor metalowy, a szybko rosnące zapotrzebowanie na miedź może być problematyczne dla ograniczenia emisji gazów cieplarnianych i innych antropogenicznych presji na środowisko. Aby zmniejszyć wpływ na środowisko, należy sprawdzić, czy miedź może zostać zastąpiona innymi materiałami, których produkcja jest mniej energo- i materiałochłonna. Dlatego też decydenci powinni zwrócić uwagę na alternatywne rozwiązania, to jest zmniejszenie pierwotnego zużycia zasobów (na rzecz surowców pochodzących z recyklingu) lub przejście na inne materiały, zamienniki, o niskim wpływie na środowisko [24]. Dlatego wielu naukowców i praktyków gospodarczych szukają tańszych alternatyw, jak na przykład ponowne wykorzystanie surowców z odzysku.

Polityka surowców wtórnych w Chinach

Wdrożone w Chinach nowe regulacje, związane z importem surowców wtórnych (odpadów), dotyczące ograniczenia ilości zanieczyszczeń, a które miały pozytywnie wpłynąć na jakość środowiska, jednocześnie znacząco zmniejszyły ilość miedzi, która trafiła do Państwa Środka z innych krajów. Importowany złom miedzi był głównym źródłem wtórnej produkcji miedzi, głównie dlatego, że krajowa produkcja starego złomu była jeszcze nieznaczna. Pojawiła się jednak znaczna luka między chińskim popytem na miedź, a ilością złomu dostępnego w kraju. W przyszłości miała ona być zniwelowana za pomocą krajowego wydobycia lub importu. Biorąc pod uwagę ograniczone możliwości wydobycia krajowego, Chiny jednak nadal będą musiały w dużej mierze polegać na imporcie surowców pierwotnych w postaci koncentratów i miedzi rafinowanej lub, w przeciwnym razie, położyć duży nacisk na swój przemysł recyklingu i nadal importować złom miedzi. To w połączeniu z wdrożeniem najnowocześniejszego, wydajnego i

przyjaznego dla środowiska przemysłu recyklingu, może być szansą dla Chin na przejście na gospodarkę o bardziej zamkniętym obiegu w odniesieniu do tego metalu [2].

Wyczerpywanie się zasobów kopalnych a GOZ

Kolejnym ważnym dla ludzkości aspektem gospodarczym jest wyczerpywanie się surowców kopalnych, na odnawianie których nie możemy liczyć. Jednym z nich jest miedź, której nie da się wydobywać w nieskończoność. Ponieważ nie zużywa się ona w całości w procesie produkcji i użytkowania, więc warto ją poddawać obróbce jako surowiec wtórny, powstały z odpadów. Za wielokrotnym jej przetwarzaniem przemawia też fakt, że jej pierwotna produkcja pochłania dużo energii.

Należy zaznaczyć, że rosnące zużycie zasobów przyczynia się również do wzrostu ilości generowanych odpadów oraz emisji gazów cieplarnianych. W konsekwencji w zastraszającym tempie postępuje zanieczyszczenie środowiska naturalnego i atmosfery, a co za tym idzie – negatywnych skutków dla ludzkości, flory i fauny na naszej planecie. Co więcej, zanieczyszczenie atmosfery skutkuje trudnymi do przewidzenia zmianami klimatycznymi. Dlatego tak ważne jest maksymalne wykorzystanie wartości zasobów i minimalizacja ilości odpadów.

Wprawdzie pojawiają się opinie, że tak zwany peak copper (szczyt wydobywania miedzi) już miał miejsce lub też nastąpi to w najbliższym czasie, jednak większość obserwacji tego nie potwierdza – wręcz przeciwnie, prognozowany jest dalszy wzrost zapotrzebowania na ten surowiec [5]. Niezbędne jest podkreślenie, iż istnieje istotna różnica pomiędzy wspomnianym peak copper a często przywoływanym do porównania peak oil, dotyczącym wydobywania ropy naftowej na świecie. Ropa naftowa jest bowiem bezpowrotnie zużywana podczas wykorzystania – raz użyta jest tracona, podczas gdy większość miedzi pozostaje w zasobach naziemnych i można ją łatwo poddać recyklingowi. Jednak to długoterminowe trendy w kopalniach tego surowca są kluczowe w odniesieniu do szczytowego górnictwa miedzi.

4. Inne czynniki kształtujący globalny rynek miedzi

Poza omówionymi wyżej czynnikami, istnieje wiele innych, które nie zawsze są oczywiste. Zaliczyć do nich można m.in.: wartość PKB, globalna populacja, urbanizacja, intensywność użycia miedzi w gospodarce, przyjęte polityki energetyczna i środowiskowa, uwarunkowania geopolityczne [2]. Badania literaturowe wykazały także, że w zależności od przyjętych założeń, innymi czynnikami, wpływającymi na wielkość popytu tego surowca mogą być: możliwość jego zastąpienia przez inne surowce, kształtowanie się ceny – zarówno miedzi, jak i substytutów, poziom aktywności przemysłowej uwarunkowany cyklami koniunktury gospodarczej. Z kolei, według autorów publikacji [4] najistotniejszą zmienną wyjaśniającą

całkowite zapotrzebowanie na miedź jest PKB per capita. Według innych badaczy, kluczową kwestią dla produkcji pierwotnej Cu w perspektywie średnioterminowej nie będzie dostępność złóż do wydobycia, a raczej kwestie gospodarcze i środowiskowe (w szczególności związane ze zużywaniem nieodnawialnych nośników energii), które mogą mieć decydujący wpływ na ograniczenia w wytwarzaniu tego surowca, zmniejszając podaż metalu na rynku [5]. Jednakże, jak wielokrotnie okazywało się już w przeszłości, szacowanie przyszłego popytu jest zawsze tylko prognozą i w zależności od przyjętych założeń oraz użytych scenariuszy, mogą sprawdzić się w większym bądź mniejszym zakresie [4]. Do kolejnych czynników zaliczyć można gatunki rudy; wielkość pozostałych, a możliwych do wydobycia zasobów mineralnych; dostępne technologie przetwarzania minerałów; kwestie ekonomiczne; ograniczenia środowiskowe (zwłaszcza zużycie energii i wody, emisje gazów cieplarnianych, użytkowanie gruntów itp.) oraz siłę roboczą [5].

W kontekście wydarzeń związanych z pandemią Covid-19, znaczącej zmianie może ulec globalny handel miedzią, zarówno pod względem obrotu giełdowego, jak i w kontekście fizycznego wykorzystania tego surowca. Związane z tym zerwanie łańcuchów dostaw i niedostarczenie wielu surowców, jak również półproduktów oraz gotowych wyrobów, spowodowało szereg implikacji, doprowadzając do kryzysu logistycznego i w konsekwencji skutkując wstrzymaniem produkcji. Następstwa tego odczuwane są po dzień dzisiejszy, jednak ze względu na brak odpowiednich badań, trudno jednoznacznie stwierdzić, jak znaczące będą tego konsekwencje – zarówno w ujęciu gospodarczym, jak i geopolitycznym. Można jednak wysunąć teorię, że część krajów będzie chciała w większej mierze, niż do tej pory, uniezależnić się od dostaw zewnętrznych (głównie Chin), co z kolei doprowadzić może do przeniesienia produkcji z państw o taniej sile roboczej (głównie region Azji) z powrotem do pierwotnych destynacji, obejmujących „Stary Kontynent”, czy USA.

Obecnie gospodarka światowa zмага się z nowym kryzysem dot. zerwania łańcuchów dostaw, ale dotyczącym surowców energetycznych dostarczanych przez Cieśninę Ormuz. Konsekwencje tego kryzysu w postaci gwałtownego wzrostu cen ropy naftowej i gazu ziemnego odczuwa niemal cały świat. Więc mimo tego, że konflikt nosi regionalny charakter, to integracja gospodarek narodowych spowodowała ich współzależność.

5. Podsumowanie

Globalny rynek miedzi ulega ciągłym zmianom. Z jednej strony, kraje o wysokim PKB per capita wykazują pewne nasycenie tym metalem, charakteryzujące się stabilizacją a nawet spadkiem popytu, z drugiej strony to jednak ogromny rynek azjatycki w najbliższej przyszłości będzie determinował popyt na ten surowiec. Należy podkreślić, iż pomimo że to rynek chiński jest na chwilę

obecną najbardziej chłonnym konsumentem, to jednak rozpatrując zapotrzebowanie na miedź, niezbędne jest uwzględnienie rodzącego się popytu ze strony innych gospodarek, które mają równie duży potencjał (charakteryzujący się rosnącym PKB oraz ogromną populacją) jak Chiny, a są dopiero na etapie rosnącej konsumpcji; takim krajem są między innymi Indie.

Sam popyt na miedź uzależniony jest od wielu czynników, z których główne, które zostały zidentyfikowane, to między innymi: PKB per capita, PKB w ujęciu globalnym, stan gospodarki światowej, związany z cyklami koniunktury gospodarczej, urbanizacja, intensywność użycia miedzi, cena surowca (pośrednio: koszt wydobycia i przetworzenia lub/i recyklingu), kwestie środowiskowe, uwarunkowania polityczne, ekonomiczne, czy też w końcu możliwość zastąpienia miedzi przez inne surowce (substytuty).

Nie sposób także przeszacować potencjału recyklingu miedzi. Metal ten jest doskonałym przykładem wdrożenia w gospodarce koncepcji obiegu zamkniętego – może być on bowiem wielokrotnie przetwarzany bez utraty swoich właściwości. Dodatkowo, nowoczesne rozwiązania technologiczne pozwalają w znacznym stopniu odzyskiwać ten surowiec z tych wyrobów, z których do tej pory było to ekonomicznie nieuzasadnione. Wydaje się także, że jednocześnie zaostrzenie polityki środowiskowej może znacząco wpłynąć na poziom recyklingu, zmniejszając tym samym zapotrzebowanie na ten metal ze źródeł pierwotnych. To oznaczałoby, że ilość surowca wydobywanego z ziemi przez kopalnie może zostać zmniejszona, naturalnie z niebagatelną korzyścią dla środowiska.

Kształtowanie się ceny miedzi, będącego surowcem stricte przemysłowym, charakteryzuje się zależnością przede wszystkim od czynników fundamentalnych, to znaczy popytu oraz podaży, a także stanu zapasów. W przypadku tego metalu ogromne znaczenie ma rynek chiński, który odpowiada za blisko 50 % globalnego zapotrzebowania, jednocześnie duże znaczenie (i stale rosnące) ma także Chile, które jest światowym liderem w jego produkcji. Jak zostało to przedstawione powyżej, zmiany podaży-popytowe mogą doprowadzić do znacznych zmian cen miedzi. Jednocześnie, podobnie jak inne metale przemysłowe, tak i ten reaguje na pozostałe dane – gospodarcze, polityczne, makroekonomiczne; niekoniecznie powiązane bezpośrednio z rynkiem miedzi. Podkreślić należy, że handel miedzią, jako ściśle powiązany z gospodarką Chin, bardzo mocno jest od niej zależny. To powoduje, że cena tego surowca reaguje w znacznie większym stopniu na dane z tej gospodarki, niż na dane z Europy czy USA, które to już nie są głównym odbiorcą tego metalu.

Literatura

[1]. Ciacci, L., Fishman, T., Elshkaki, A., Graedel, T. E., Vassura, I., Passarini, F. (2020). Exploring future copper demand, recycling and associated greenhouse gas emissions in the EU-28. *Global*

Environmental Change, 63, 102093. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2020.102093>

- [2]. Dong, D., Espinoza, L. A. T., Loibl, A., Pfaff, M., Tukker, A., van der Voet, E. (2020). Scenarios for anthropogenic copper demand and supply in China: implications of a scrap import ban and a circular economy transition. *Resources, Conservation and Recycling*, 161, 104943. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2020.104943>
- [3]. Schipper, B. W., Lin, H. C., Meloni, M. A., Wansleeben, K., Heijungs, R., van der Voet, E. (2018). Estimating global copper demand until 2100 with regression and stock dynamics. *Resources, Conservation and Recycling*, 132, 28–36. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2018.01.004>
- [4]. Hunt, C., Romero, J., Jara, J., Lagos, G. (2021). Copper demand forecasts and predictions of future scarcity. *Resources Policy*, 73, 102123. <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2021.102123>
- [5]. Northey, S., Mohr, S., Mudd, G. M., Weng, Z., Giurco, D. (2014). Modelling future copper ore grade decline based on a detailed assessment of copper resources and mining. *Resources, Conservation and Recycling*, 83, 190–201. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2013.10.005>
- [6]. Kulczycka, J., Lelek, Ł., Lewandowska, A., Wirth, H., Bergesen, J. D. (2016). Environmental impacts of energy-efficient pyrometallurgical copper smelting technologies: The consequences of technological changes from 2010 to 2050. *Journal of Industrial Ecology*, 20(2), 304–316.
- [7]. Loibl, A., Tercero Espinoza, L. A. (2021). Current challenges in copper recycling: aligning insights from material flow analysis with technological research developments and industry issues in Europe and North America. *Resources, Conservation and Recycling*, 169, 105462. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2021.105462>
- [8]. Liu, S., Liu, W., Tan, Q., Li, J., Qin, W., Yang, C. (2021). The impact of China's import ban on global copper scrap flow network and the domestic copper sustainability. *Resources, Conservation and Recycling*, 169, 105525. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2021.105525>
- [9]. Watari, T., Northey, S., Giurco, D., Hata, S., Yokoi, R., Nansai, K., Nakajima, K. (2022). Global copper cycles and greenhouse gas emissions in a 1.5°C world. *Resources, Conservation and Recycling*, 179, 106118. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2021.106118>
- [10]. Kuipers, K. J. J., van Oers, L. F. C. M., Verboon, M., van der Voet, E. (2018). Assessing environmental implications associated with

- global copper demand and supply scenarios from 2010 to 2050. *Global Environmental Change*, 49, 106–115.
<https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2018.02.008>
- [11]. Xiao, C., Florescu, I., Zhou, J. (2020). A comparison of pricing models for mineral rights: Copper mine in China. *Resources Policy*, 65, 101546.
<https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2019.101546>
- [12]. Cifuentes, S., Cortazar, G., Ortega, H., Schwartz, E. S. (2020). Expected prices, futures prices and time-varying risk premiums: The case of copper. *Resources Policy*, 69, 101825.
<https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2020.101825>
- [13]. Klein, T., Todorova, N. (2021). Night trading with futures in China: The case of Aluminum and Copper. *Resources Policy*, 73, 102205.
<https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2021.102205>
- [14]. (Państwowy Instytut Geologiczny) Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, <https://www.pgi.gov.pl/psg-1/psg-2/informacja-i-szkolenia/wiadomosci-surowcowe/10429-zapotrzebowanie-i-zastosowanie-miedzi.html> [dostęp 10.11.2021]
- [15]. (Bloomberg, 2021) Bloomberg, 23.06.2021, <https://www.bloomberg.com/press-releases/2021-06-23/copper-s-rising-importance-in-growing-infrastructure-technology-needs-causing-the-supply-and-demand-to-remain-high> [dostęp 13.02.2022]
- [16]. (ICSG, 2025) ICSG – International Copper Study Group, <https://icsg.org/copper-factbook/> [dostęp 27.02.2026]
- [17]. (ICSG, 2021) ICSG – International Copper Study Group, <https://icsg.org/wp-content/uploads/2021/11/ICSG-Factbook-2021.pdf> [dostęp 06.02.2022]
- [18]. (KGHM), <https://kgbm.com/pl/o-nas/nasza-branza/rynek-miedzi> [dostęp 03.04.2022]
- [19]. (Michał Stopka. Inwestor Profesjonalny, 2016) Michał Stopka. Inwestor Profesjonalny, 28.07.2016, <https://www.michalstopka.pl/fundamentalna-analiza-ryнку-miedzi-w-kontekście-kgbm/> [dostęp 12.02.2022]
- [20]. Wang, M.; Liang, Y.; Chen, W.; Li, X. Analysis of the Quantity and Average Age of Copper in-Use Stock in the U.S. from 1985 to 2014. *Preprints* 2017, 2017050213 (doi: 10.20944/preprints201705.0213.v1) [dostęp 13.02.2022]
- [21]. (Nornickel, 2020) <https://ar2020.nornickel.com/commodity-market-overview/copper> [dostęp 06.02.2022]
- [22]. (Monitorfx) <https://monitorfx.pl/rynek-miedzi/> [dostęp 12.11.2021]
- [23]. (S&P Global Market Intelligence, 2021) S&P Global Market Intelligence, 18.05.2021, <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/research/recent-discoveries-fail-to-alter-downward-trend> [dostęp 13.02.2022]
- [24]. Kuipers, K. J. J., van Oers, L. F. C. M., Verboon, M., van der Voet, E. (2018). Assessing environmental implications associated with global copper demand and supply scenarios from 2010 to 2050. *Global Environmental Change*, 49, 106–115.
<https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2018.02.008>

Streszczenie

Artykuł skupia uwagę na najważniejszych czynnikach wywierających wpływ na kierunek rozwoju współczesnego rynku miedzi, która jest jednym ze strategicznych surowców mineralnych zużywanych na świecie w wielu gałęziach przemysłu i życia społecznego. Analiza otoczenia tego rynku pokazała, że poza podstawowymi czynnikami rynkowymi (takimi jak popyt, podaż i cena) wiele innych czynników mogą wpływać pozytywnie lub negatywnie na ten segment rynku metali kolorowych, wywołując zmiany w czasie i przestrzeni. Wyniki badań mogą stanowić podstawę do planowania długoterminowego w przedsiębiorstwach związanych z tym rodzajem metali kolorowych oraz dla tworzenia prognoz odnośnie zmian w tym segmencie rynku.

Słowa kluczowe: miedź, surowce, metale przemysłowe, popyt, podaż, cena, rynek

Conditions for the development of the global copper market

Abstract

This article focuses on the most important factors influencing the development of the contemporary copper market. Copper is a strategic mineral resource used globally in numerous industries and social sectors. Analysis of this market environment has shown that, in addition to basic market factors (such as demand, supply, and price), many other factors can positively or negatively impact this segment of the nonferrous metals market, causing changes over time and space. The research results can provide a basis for long-term planning in companies involved in this type of nonferrous metals and for forecasting changes in this market segment.

Keywords: copper, raw materials, industrial metals, demand, supply, price, market

Publikacja powstała w ramach badań finansowanych z subwencji na rozwój potencjału badawczego Politechniki Krakowskiej i Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie

mgr inż. arch. Justyna M. Kobylarczyk ¹⁾, dr inż. Natalia Generowicz-Caba ¹⁾, dr Agnieszka Nowaczek ¹⁾, prof. dr hab. Joanna Kulczycka ¹⁾

¹⁾ Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków

Bariery i uwarunkowania raportowania ESG w MŚP na przykładzie sektora wydobywczego

1. Wprowadzenie

Sektor małych i średnich przedsiębiorstw (MŚP) w sektorze wydobywczym charakteryzuje się znacznym zróżnicowaniem, obejmując zarówno niewielkie kopalnie surowców skalnych, jak i podmioty świadczące wyspecjalizowane usługi górnicze (PARP, 2023; GUS, 2023). Pomimo dominacji tzw. „narodowych czempionów”, takich jak KGHM, PGG, JSW czy Orlen, mniejsze przedsiębiorstwa odgrywają istotną rolę w gospodarce surowcowej, zwłaszcza w zakresie wydobycia kruszyw oraz jako podwykonawcy dla dużych podmiotów sektora energetycznego i wydobywczego (PwC, 2022; Deloitte, 2023).

MŚP w sektorze górniczym cechuje wysoki stopień specjalizacji, przejawiający się koncentracją na niszowych surowcach lub określonych usługach, takich jak wiercenia, transport, obsługa maszyn czy usługi serwisowe. W obszarze wydobycia kruszyw znaczną część rynku stanowią kopalnie odkrywkowe surowców skalnych, w tym wapienia, piasków i żwiru, zrzeszone m.in. w Polskim Związku Producentów Kruszyw (<https://kruszipol.pl/>). Jednocześnie obserwuje się stopniową adaptację rozwiązań z zakresu Przemysłu 4.0, choć wykorzystanie zaawansowanych technologii, w tym sztucznej inteligencji, pozostaje ograniczone (McKinsey, 2023; Deloitte, 2023).

Zakres działalności MŚP obejmuje zarówno eksploatację surowców, jak i działalność okołogórnictwa. Do pierwszej grupy należą przedsiębiorstwa zajmujące się wydobyciem piasku, żwiru oraz kamienia budowlanego stanowiące najliczniejszą kategorię prywatnych firm wydobywczych w Polsce (GUS, 2023). W ramach działalności okołogórnictwa funkcjonują również podmioty świadczące usługi serwisowe i technologiczne dla branży, takie jak Famur (*Grenevia – inwestor działający w obszarze zielonej transformacji*) oraz Bumech, które jednocześnie rozwijają własne aktywa lub dywersyfikują działalność (Grenevia, 2023; Bumech, 2023). W sektorze węglowym działają również mniejsze prywatne spółki, o mniejszej skali lub trudniejszych warunkach geologiczno-górnictwowych niż złoża eksploatowane przez duże koncerny państwowe (ARP, 2022). Istotną rolę odgrywają także przedsiębiorstwa funkcjonujące w ramach różnych organizacji/związków – przykładowo znacząca część podmiotów zrzeszonych w Związku

Pracodawców Polska Miedź to MŚP współpracujące z KGHM Polska Miedź SA.

Sektor MŚP w górnictwie stoi obecnie przed szeregiem wyzwań. Transformacja energetyczna wymusza na mniejszych przedsiębiorstwach dostosowanie do zmieniających się warunków rynkowych, szczególnie w sektorze węglowym, gdzie rosną trudności finansowe oraz potrzeba dywersyfikacji źródeł przychodów (IEA, 2023; Forum Energii, 2023). Podmioty te, podobnie jak duże przedsiębiorstwa, mierzą się z wysokimi kosztami operacyjnymi oraz koniecznością spełniania coraz bardziej rygorystycznych wymogów środowiskowych, co w praktyce wymusza inwestycje w nowoczesne technologie oraz wdrażanie bardziej zrównoważonych modeli działalności (European Commission, 2023).

Sektor MŚP w polskim górnictwie i sektorze wydobywczym znajduje się obecnie w fazie dynamicznej transformacji, wynikającej z postępującej dekarbonizacji gospodarki oraz ograniczania znaczenia tradycyjnych surowców energetycznych. Proces ten prowadzi do przesunięcia aktywności przedsiębiorstw w kierunku eksploatacji surowców skalnych, rozwoju usług serwisowych oraz wdrażania innowacyjnych technologii zwiększających efektywność operacyjną i konkurencyjność rynkową.

W tym kontekście istotną rolę odgrywają organizacje branżowe, takie jak Polski Związek Producentów Kruszyw, które wspierają koordynację działań przedsiębiorstw, rozwój standardów branżowych oraz wymianę dobrych praktyk w sektorze MŚP. Jednocześnie rosnące znaczenie regulacji środowiskowych oraz wymogów raportowania ESG (Environmental, Social, Governance) powoduje, że mniejsze podmioty stają przed koniecznością dostosowania modeli zarządzania do nowych standardów zrównoważonego rozwoju, mimo ograniczonych zasobów organizacyjnych, finansowych i kompetencyjnych.

Strukturę sektora wydobywczego w Polsce według wielkości przedsiębiorstw przedstawiono w

tabeli 1. Jak wynika z zaprezentowanych danych, sektor ten charakteryzuje się silną dominacją mikroprzedsiębiorstw (80,3%), przy marginalnym udziale podmiotów dużych (1,4%). Łącznie przedsiębiorstwa z sektora MŚP stanowią 98,6% wszystkich podmiotów, co potwierdza ich kluczową rolę w funkcjonowaniu oraz transformacji branży wydobywczej (GUS, 2025).

Tabela 1. Liczba przedsiębiorstw w sektorze wydobywczym w Polsce w 2024 r. według wielkości i klasyfikacji MŚP

Wielkość przedsiębiorstwa	Liczba podmiotów	Udział w sektorze (%)
Mikro (0–9 pracowników)	1 987	80,3
Małe (10–49 pracowników)	349	14,1
Średnie (50–249 pracowników)	104	4,2
Duże (250+ pracowników)	34	1,4
Razem	2 474	100
MŚP (0–249 pracowników)	2 440	98,6

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS.

2. Zakres raportowania ESG w sektorze wydobywczym

Raportowanie ESG w sektorze wydobywczym obejmuje kompleksowy zestaw ujawnień środowiskowych, społecznych oraz dotyczących ładu korporacyjnego, wynikających zarówno z rosnących wymogów regulacyjnych Unii Europejskiej, w szczególności Dyrektywy CSRD oraz standardów ESRS, jak i z presji inwestorów oraz innych interesariuszy (European Commission, 2023a; KPMG, 2024). Ze względu na wysoką materiałochłonność, energochłonność oraz bezpośredni i długoterminowy wpływ na środowisko naturalne, sektor wydobywczy należy do branż o szczególnie rozbudowanym zakresie raportowania niefinansowego.

Filar środowiskowy, przedstawiony w tabeli 2, stanowi kluczowy komponent raportowania ESG w sektorze wydobywczym i obejmuje szeroki zakres ujawnień dotyczących oddziaływania działalności operacyjnej na środowisko naturalne.

Tabela 2. Obszar środowiskowy ESG (E) – mapping ESRS

ESRS standard	Zakres ujawnień (disclosures)	Przykładowe wskaźniki w sektorze wydobywczym
---------------	-------------------------------	--

ESRS E1 – Climate Change	Emisje GHG, strategie dekarbonizacji, cele klimatyczne, plany transformacji	Scope 1–3 emisji (Mg CO ₂ e), intensywność emisyjna, ślad węglowy wydobycia
ESRS E2 – Pollution	Emisje zanieczyszczeń do powietrza, wody i gleby	PM10, NO _x , SO _x , zrzuty ścieków technologicznych
ESRS E3 – Water and Marine Resources	Zużycie i zarządzanie wodą	Pobór wody, recyrkulacja, zużycie na tonę wydobycia
ESRS E4 – Biodiversity and Ecosystems	Wpływ na ekosystemy i rekultywacja	Powierzchnia terenów zdegradowanych i zrekultywowanych
ESRS E5 – Resource Use & Circular Economy	Gospodarka zasobami i odpadami	Odpady wydobywcze, wykorzystanie surowców wtórnych

Źródło: Opracowanie własne.

Zakres ujawnień środowiskowych wskazuje na dominującą rolę komponentu E w raportowaniu ESG w sektorze wydobywczym.

Filar społeczny obejmuje szeroko rozumiany wpływ działalności wydobywczej na pracowników, społeczności lokalne oraz interesariuszy zewnętrznych, przy czym szczególne znaczenie mają kwestie bezpieczeństwa pracy i akceptacji społecznej, co zostało przedstawione w tabeli 3.

Tabela 3. Obszar społeczny ESG (S) – mapping ESRS

ESRS standard	Zakres ujawnień (disclosures)	Przykładowe wskaźniki w sektorze wydobywczym
ESRS S1 – Own Workforce	Warunki pracy, BHP, prawa pracownicze	LTIFR (Lost Time Injury Frequency Rate), TRIFR (Total Recordable Injury Frequency Rate), liczba wypadków, szkolenia BHP
ESRS S2 – Workers in	Warunki pracy w	standardy BHP u

Value Chain	łańcuchu dostaw	podwykonawców, outsourcing usług górniczych
ESRS S3 – Affected Communities	Wpływ na społeczności lokalne	social licence to operate, konsultacje społeczne
ESRS S4 – Consumers & End-users	Bezpieczeństwo produktów i wpływ końcowy	jakość surowców, bezpieczeństwo zastosowań budowlanych

Źródło: Opracowanie własne.

W porównaniu do aspektów środowiskowych, komponent społeczny ma bardziej jakościowy charakter, jednak jego znaczenie systematycznie rośnie.

Filar governance odnosi się do systemów zarządzania, nadzoru oraz mechanizmów kontroli w przedsiębiorstwie, które warunkują wiarygodność raportowania ESG. Zakres tego filaru przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Obszar ładu korporacyjnego ESG (G) – mapping ESRS

ESRS standard	Zakres ujawnień (disclosures)	Przykładowe wskaźniki w sektorze wydobywczym
ESRS G1 – Business Conduct	Etyka biznesu, transparentność, przeciwdziałanie korupcji	polityki compliance, whistleblowing, audyty ESG
ESRS (cross-cutting)	Zarządzanie ryzykiem i systemy raportowania	systemy kontroli ryzyk środowiskowych i regulacyjnych
ESRS (cross-cutting)	Łańcuch wartości i nadzór ESG	ESG screening dostawców, transparentność kontraktów

Źródło: Opracowanie własne.

Obszar ładu korporacyjnego pełni funkcję integrującą pozostałe komponenty ESG, zapewniając spójność i wiarygodność raportowania.

Raportowanie ESG w sektorze wydobywczym ma charakter wielopoziomowy i obejmuje zarówno mierzalne wskaźniki środowiskowe, jak i jakościowe aspekty społeczne oraz zarządcze. Dominującą rolę odgrywa komponent środowiskowy, co wynika z wysokiej presji środowiskowej działalności górniczej. Jednocześnie rosnące znaczenie standardów ESRS prowadzi do integracji wszystkich trzech filarów ESG w systemach zarządzania przedsiębiorstw. W

przypadku MŚP implementacja tych wymogów stanowi istotne wyzwanie, wynikające z ograniczonych zasobów, kompetencji oraz stopnia cyfryzacji, co przekłada się na zróżnicowany poziom dojrzałości raportowania niefinansowego.

3. Od dobrowolności do konieczności: znaczenie ESG w MŚP sektora wydobywczego

W kontekście rosnącej presji regulacyjnej oraz wymagań inwestorów i kontrahentów, coraz większe znaczenie dla MŚP w sektorze wydobywczym zyskuje raportowanie kwestii zrównoważonego rozwoju i wdrażanie praktyk ESG. Choć obowiązek raportowania ESG dotyczy przede wszystkim dużych przedsiębiorstw, MŚP mogą dobrowolnie korzystać z narzędzi pozwalających na systematyczne dokumentowanie wpływu swojej działalności na środowisko, społeczeństwo oraz mechanizmy ładu korporacyjnego. W tym kontekście istotnym rozwiązaniem jest standard VSME (Voluntary Sustainability Reporting Standard for Small and Medium-sized Enterprises), opracowany przez EFRAG (EFRAG, 2024) w celu umożliwienia MŚP raportowania ESG w sposób proporcjonalny do ich wielkości i możliwości operacyjnych.

Standard VSME obejmuje trzy podstawowe obszary raportowania. W zakresie środowiskowym umożliwia monitorowanie i dokumentowanie zużycia energii i wody, emisji gazów cieplarnianych i innych zanieczyszczeń, gospodarki odpadami oraz efektywnego wykorzystania zasobów naturalnych, co w przypadku przedsiębiorstw wydobywczych odnosi się między innymi do eksploatacji surowców skalnych, zarządzania odpadami poprodukcyjnymi oraz ograniczania negatywnego wpływu działalności na lokalne ekosystemy. Obszar społeczny koncentruje się na bezpieczeństwie i higienie pracy, szkoleniach i rozwoju kadry, promowaniu różnorodności, przeciwdziałaniu dyskryminacji oraz budowaniu relacji z lokalnymi społecznościami, które często są bezpośrednio dotknięte działalnością wydobywczą. W zakresie ładu korporacyjnego standard wskazuje zasady przejrzystości działania przedsiębiorstwa, etyki biznesowej, przeciwdziałania korupcji oraz nadzoru nad ryzykami środowiskowymi i społecznymi.

VSME został zaprojektowany w sposób prosty i proporcjonalny, co pozwala MŚP na raportowanie wyłącznie tych wskaźników, które są istotne w kontekście ich działalności, minimalizując koszty i nakład pracy związany z dokumentowaniem procesów ESG. W sektorze wydobywczym zaleca się koncentrację na wskaźnikach związanych z

eksploatacją surowców, takich jak emisje pyłów i hałasu, zużycie energii, gospodarka odpadami oraz oddziaływanie na lokalne środowisko, w tym na gleby i wody.

Zastosowanie standardu VSME w MŚP wydobywczych niesie ze sobą szereg korzyści strategicznych. Przede wszystkim pozwala na zwiększenie transparentności wobec klientów, partnerów biznesowych i inwestorów, a także ułatwia uczestnictwo w łańcuchach dostaw wymagających oceny ESG. Ponadto wdrożenie standardu sprzyja budowaniu wiarygodności firmy w oczach lokalnych społeczności oraz organów nadzoru, co ma istotne znaczenie w branży wydobywczej, gdzie działalność przedsiębiorstw oddziałuje bezpośrednio na środowisko naturalne i otoczenie społeczne. Standard VSME stanowi także narzędzie przygotowujące przedsiębiorstwa do

przyszłych obowiązków wynikających z unijnych regulacji, takich jak dyrektywa CSRD i standardy ESRS.

Dzięki swoim cechom – dobrowolności, proporcjonalności i prostocie – VSME umożliwia stopniowe wdrażanie praktyk zrównoważonego rozwoju w małych i średnich przedsiębiorstwach sektora wydobywczego, tworząc jednocześnie podstawę do późniejszego, bardziej kompleksowego raportowania ESG, co w dłuższej perspektywie może wpłynąć na zwiększenie konkurencyjności i stabilności rynkowej tych podmiotów. W tabeli 5 przedstawiono propozycję wskaźników ESG dla MŚP w sektorze wydobywczym opracowaną w oparciu o standard VSME, obejmującą kluczowe mierniki w obszarach środowiskowym, społecznym oraz ładu korporacyjnego, wraz z przypisanymi jednostkami oraz operacyjnymi KPI.

Tabela 5. Propozycja wskaźników ESG dla MŚP w sektorze wydobywczym (standard VSME)

Obszar ESG	Wskaźnik	Jednostka	Wskaźnik szczegółowy (KPI operacyjny)	Cel
Środowisko (E)	Zużycie energii	kWh / rok	Zużycie energii na tonę wydobywania (kWh/t)	Minimalizacja zużycia energii, monitorowanie efektywności energetycznej
	Emisje CO ₂	Mg CO ₂ e / rok	Emisje CO ₂ na tonę wydobywania (Mg CO ₂ e/t)	Redukcja śladu węglowego zgodnie z polityką ESG
	Emisje pyłów i hałasu	mg/m ³ lub dB	Średnie stężenie PM10 oraz poziom hałasu (dB)	Ograniczenie negatywnego wpływu na lokalne środowisko
	Gospodarka odpadami	Mg / rok, % recyklingu	% odpadów poddanych recyklingowi / odzyskowi	Poprawa efektywności zarządzania odpadami, wdrażanie recyklingu
	Woda	m ³ / rok	Zużycie wody na tonę wydobywania (m ³ /t)	Racjonalizacja wykorzystania zasobów wodnych
Społeczne (S)	BHP – wypadki przy pracy	liczba	LTIFR	Poprawa bezpieczeństwa i higieny pracy
	Szkolenia i rozwój	godziny / pracownik / rok	Średnia liczba godzin szkoleń na pracownika	Rozwój kompetencji pracowników
	Relacje z lokalną społecznością	opis działań	Liczba konsultacji społecznych / rok	Budowa pozytywnego wizerunku i odpowiedzialności społecznej
	Zatrudnienie lokalne	% pracowników z regionu	Udział pracowników lokalnych (%)	Wsparcie lokalnej gospodarki
Ład korporacyjny (G)	Polityka etyczna i antykorupcyjna	tak/nie, opis	% pracowników objętych kodeksem etyki	Zapewnienie transparentności i zgodności z prawem
	Zarządzanie ryzykiem ESG	opis	Liczba zidentyfikowanych i monitorowanych ryzyk ESG	Redukcja ryzyk reputacyjnych i operacyjnych

	Transparentność finansowa	tak/nie, raport	Publikacja raportu finansowego i ESG (tak/nie)	Budowa zaufania inwestorów i partnerów biznesowych
--	---------------------------	-----------------	--	--

Źródło: Opracowanie własne

Jednocześnie MŚP z sektora wydobywczego, które są notowane na giełdzie, będą objęte obowiązkiem raportowania zrównoważonego rozwoju zgodnie z Europejskim Standardem Sprawozdawczości Zrównoważonego Rozwoju dla Notowanych Małych i Średnich Przedsiębiorstw (LSME), stanowiącym część systemu ESRS. W tym ujęciu dobrowolne wdrażanie standardu VSME może pełnić funkcję etapu przygotowawczego, ułatwiającego dostosowanie się do przyszłych wymogów regulacyjnych oraz zwiększającego zdolność przedsiębiorstw do spełniania rosnących oczekiwań interesariuszy.

Uzupełnieniem europejskich ram raportowania ESG, w szczególności standardu VSME, są krajowe inicjatywy o charakterze wdrożeniowym. W tym kontekście należy wskazać Poradnik do Wytucznych Systemu Zarządzania Zrównoważonym Rozwojem dla MŚP, opracowany w maju 2025 r. przez Krajową Izbę Gospodarczą (KIG, 2025) we współpracy z firmą doradcą Altemis. Dokument ten stanowi kompleksowe narzędzie wspierające małe i średnie przedsiębiorstwa w systemowym podejściu do zarządzania zrównoważonym rozwojem, integrując wymagania raportowe z praktyką operacyjną.

Poradnik został zaprojektowany jako rozwinięcie Wytucznych ESG dla MŚP i opiera się na założeniach standardu VSME, jednak jego główną wartością jest wysoki poziom szczegółowości oraz orientacja na praktyczne wdrożenie. Struktura dokumentu obejmuje pełny cykl zarządzania ESG w organizacji i jest zbliżona do logiki systemów zarządzania (np. podejścia PDCA – Plan-Do-Check-Act). Obejmuje on m.in. definiowanie terminów i zakresu stosowania wytycznych, identyfikację czynników wewnętrznych i zewnętrznych oraz analizę interesariuszy, co stanowi podstawę do przeprowadzenia analizy istotności.

Szczególny nacisk położono na rolę kierownictwa w procesie wdrażania ESG. Poradnik precyzyjnie określa obowiązki zarządu oraz poszczególnych komórek organizacyjnych, w tym działów operacyjnych (produkcja, logistyka, HR, marketing) oraz pracowników, podkreślając konieczność ich zaangażowania w realizację celów zrównoważonego rozwoju. Wskazano również na potrzebę powołania dedykowanych zespołów ds. ESG oraz budowania kompetencji i świadomości

pracowników jako warunku skutecznego funkcjonowania systemu.

Kolejnym kluczowym elementem jest operacjonalizacja działań ESG poprzez wdrożenie mechanizmów wsparcia i kontroli. Poradnik szczegółowo opisuje zasady komunikacji wewnętrznej i zewnętrznej w zakresie ESG, zarządzania dokumentacją oraz rozwijania kompetencji. W obszarze kontroli operacyjnej wskazuje na konieczność integracji aspektów środowiskowych, społecznych i zarządczych z codzienną działalnością przedsiębiorstwa, w tym zarządzania łańcuchem dostaw, monitorowania ryzyk oraz zapewnienia ciągłości działania.

Istotną część dokumentu stanowią również mechanizmy oceny efektywności wdrożonych działań. Obejmują one systemy monitorowania i raportowania wskaźników ESG, audyty wewnętrzne oraz cykliczne przeglądy systemu zarządzania. Uzupełnieniem tego podejścia są procedury doskonalenia, w tym działania korygujące oraz zarządzanie incydentami, co wpisuje się w koncepcję ciągłego doskonalenia procesów.

Poradnik akcentuje także rosnące znaczenie danych ESG w relacjach rynkowych. Wskazuje, że przedsiębiorstwa MŚP coraz częściej są zobowiązane do dostarczania informacji niefinansowych w ramach łańcuchów dostaw, szczególnie w relacjach z dużymi podmiotami objętymi obowiązkami raportowymi. W tym kontekście wdrożenie systemowego podejścia do ESG umożliwia nie tylko spełnienie oczekiwań interesariuszy, lecz także poprawę efektywności operacyjnej oraz zarządzania ryzykiem, a w konsekwencji budowę przewagi konkurencyjnej.

W ujęciu systemowym Poradnik do Wytucznych stanowi praktyczne narzędzie translacji założeń standardu VSME na poziom operacyjny przedsiębiorstwa. Może on pełnić funkcję etapu przejściowego pomiędzy dobrowolnym raportowaniem ESG a pełnym dostosowaniem do wymogów regulacyjnych Unii Europejskiej, w tym standardów ESRS, a w przypadku podmiotów notowanych – również LSME. Tym samym wpisuje się w proces stopniowej profesjonalizacji zarządzania zrównoważonym rozwojem w sektorze MŚP oraz wzmacnia zdolność przedsiębiorstw do adaptacji do rosnących wymogów regulacyjnych i rynkowych.

4. Wyzwania i bariery wdrażania ESG w MŚP sektora wydobywczego

Na istotne tendencje w tym zakresie wskazują również wyniki badania przeprowadzonego przez GS1 Polska (GS1 Polska, 2024), zgodnie z którymi MŚP w Polsce koncentrują swoje działania ESG przede wszystkim na obszarach bezpośrednio związanych z działalnością operacyjną, takich jak gospodarka odpadami, recykling, ograniczanie zużycia zasobów, redukcja emisji oraz wdrażanie bardziej zrównoważonych produktów i procesów. Jednocześnie wyniki badania pokazują, że przedsiębiorstwa te napotykają liczne bariery we wdrażaniu polityki ESG, w tym brak wyraźnej potrzeby wewnętrznej i presji ze strony otoczenia, niedostateczny poziom wsparcia i wiedzy, a także ograniczenia finansowe i organizacyjne.

Znacząca część firm działa jedynie w ramach obowiązujących regulacji, nie dostrzegając korzyści wynikających z dobrowolnych działań, jeśli nie są one wymagane prawnie. Respondenci wskazywali również na brak wiedzy o ESG oraz potrzebę doradztwa eksperckiego, szczególnie w zakresie zgodności z nowymi dyrektywami i regulacjami, w tym z dyrektywą CSRD*, która – po rewizji w ramach pakietu Omnibus – nie obejmuje już większości przedsiębiorstw z sektora MŚP, jednak pośrednio oddziałuje na nie poprzez łańcuchy dostaw oraz rosnące wymagania dużych kontrahentów.

**Pierwotnie dyrektywa CSRD miała obejmować również przedsiębiorstwa średnie (ok. 250+ pracowników), jednak w wyniku zmian wprowadzonych w ramach pakietu Omnibus zakres regulacji został istotnie ograniczony. Podniesiono progi raportowania do poziomu największych podmiotów (ok. 1000 pracowników i ok. 450 mln euro obrotu), co skutkowało wyłączeniem z obowiązku raportowania około 80–90% przedsiębiorstw, w tym większości sektora MŚP. Dodatkowo wprowadzono przesunięcia terminów wdrażania przepisów (tzw. „stop-the-clock”).*

Badanie ujawnia alarmującą lukę w świadomości regulacyjnej – 55,1% respondentów nie zna pojęcia ESG, a 62,1% nie jest świadomych obowiązujących przepisów, w tym CSRD. Ponadto 49% przedsiębiorstw nie rozumie ryzyk wynikających z nowych regulacji, a aż 80,7% nie zna narzędzia Cyfrowych Paszportów Produktów (Digital Product Passport, DPP), które od 2026 roku będą obowiązkowe dla produktów takich jak baterie, elektronika, tekstylia i wyroby budowlane. Wdrożenie DPP wymaga udostępniania

szczegółowych informacji o produktach, co bezpośrednio wpływa na funkcjonowanie gospodarki obiegu zamkniętego i podkreśla konieczność przygotowania przedsiębiorstw do nowych wymogów (GS1 Polska, 2024).

W kontekście sektora wydobywczego wyniki badania potwierdzają, że MŚP potrzebują wsparcia instytucji rządowych i organizacji branżowych, takich jak PARP czy PFR zarówno w zakresie edukacji, doradztwa eksperckiego, jak i pomocy prawnej czy wsparcia w pozyskiwaniu finansowania projektów ESG (PARP, 2023). Brak dostępu do rzetelnych informacji i ekspertów może ograniczyć zdolność MŚP do skutecznego wdrażania polityki ESG i zagrozić stabilności wielu firm w sektorze wydobywczym. Wdrażanie standardu VSME, w połączeniu z edukacją i wsparciem instytucjonalnym, stanowi więc kluczowy element przygotowania przedsiębiorstw do nowych wymogów prawnych oraz budowania przewagi konkurencyjnej w coraz bardziej zrównoważonym środowisku rynkowym.

Identyfikacja MŚP formalnie raportujących kwestie ESG jest utrudniona, ponieważ raporty często nie są publicznie dostępne, a informacje publikowane przez mniejsze przedsiębiorstwa mają często charakter nieformalny. Z danych wynika, że MŚP w Polsce i na świecie najczęściej zaczynają raportować ESG dopiero po włączeniu do większych grup kapitałowych, które są zobowiązane do przygotowywania formalnych raportów zgodnie z regulacjami i oczekiwaniami inwestorów. Bariery samodzielnego raportowania w MŚP obejmują m.in. wysokie koszty, brak wiedzy specjalistycznej, ograniczenia kadrowe oraz złożoność standardów sprawozdawczych. Eksperci podkreślają, że wsparcie w postaci uproszczenia wymogów, szkoleń, narzędzi oraz zachęt finansowych może znacząco zwiększyć liczbę MŚP raportujących ESG, pozwalając im lepiej monitorować wpływ działalności na środowisko i społeczeństwo.

Pomimo opracowania praktycznych narzędzi wspierających wdrażanie ESG, takich jak Poradnik do Wytucznych Systemu Zarządzania Zrównoważonym Rozwojem dla MŚP przygotowany przez Krajową Izbę Gospodarczą, poziom ich wykorzystania wśród małych i średnich przedsiębiorstw pozostaje na wczesnym etapie rozwoju. Wynika to przede wszystkim z relatywnie krótkiego okresu funkcjonowania tych rozwiązań (od 2025 r.), a także z ograniczonej świadomości regulacyjnej i organizacyjnej w sektorze MŚP. W praktyce wdrożenia mają często charakter pilotażowy i koncentrują się w przedsiębiorstwach

współpracujących z dużymi podmiotami, które – w związku z obowiązkami raportowymi wynikającymi z regulacji unijnych – wymagają przekazywania danych ESG w ramach łańcuchów dostaw. Wiele przedsiębiorstw MŚP znajduje się nadal na początkowym etapie implementacji, ograniczając się do selektywnego gromadzenia danych środowiskowych lub społecznych, bez pełnego wdrożenia systemowego podejścia do zarządzania ESG.

Jednocześnie należy podkreślić, że dostępność takich narzędzi jak poradnik KIG pełni istotną funkcję infrastrukturalną, umożliwiając stopniowe przechodzenie od działań ad hoc do bardziej sformalizowanych systemów zarządzania zrównoważonym rozwojem. W miarę wzrostu presji regulacyjnej oraz rosnących wymagań interesariuszy – w szczególności klientów, instytucji finansowych i partnerów biznesowych – można oczekiwać dynamicznego wzrostu zainteresowania oraz poziomu wdrożenia tego typu rozwiązań w sektorze MŚP.

Chociaż formalne raportowanie ESG wciąż nie jest powszechne wśród MŚP wiele organizacji pozarządowych aktywnie wspiera wdrażanie i komunikowanie działań prośrodowiskowych i prospołecznych. W Polsce przykładem jest GS1 Polska, organizacja non-profit, która mimo mniejszej skali publikuje informacje o inicjatywach zrównoważonego rozwoju, takich jak cyfryzacja procesów, redukcja zużycia papieru czy działania edukacyjne dla członków sieci biznesowych. Grupa Pracuj S.A. realizuje projekty wspierające rozwój pracowników i społeczności lokalnych, w tym programy mentoringowe, szkolenia zawodowe oraz inicjatywy promujące różnorodność i inkluzję w miejscu pracy.

5. Ograniczona widoczność raportowania ESG w MŚP sektora wydobywczego jako luka badawcza

Jednym z istotnych problemów zidentyfikowanych w trakcie analizy literatury oraz przeglądu praktyk rynkowych jest brak dostępnych przykładów MŚP sektora wydobywczego publikujących dane zbieżne z wymogami ESG. Zjawisko to nie wynika z niedoskonałości procesu badawczego, lecz odzwierciedla rzeczywisty stan rozwoju raportowania zrównoważonego w tej grupie podmiotów (Ortiz-Martínez & Marín-Hernández, 2024).

Poziom formalizacji działań ESG w sektorze MŚP jest istotnie niższy niż w przypadku dużych przedsiębiorstw. Wynika to z ograniczonych zasobów finansowych i organizacyjnych, które utrudniają wdrażanie kompleksowych standardów raportowania, takich jak VSME (European

Commission, 2025b) czy wymogi CSRD w kontekście pakietu Omnibus I (European Commission, 2025a). Przygotowanie raportu ESG często wymaga wsparcia wyspecjalizowanych podmiotów zewnętrznych, co generuje koszty nieproporcjonalne do skali działalności małych firm (Ragulskis i in., 2026).

Dodatkowym czynnikiem ograniczającym rozwój raportowania ESG w MŚP sektora wydobywczego jest specyfika branży. Podmioty te często funkcjonują lokalnie, realizując działalność o niewielkiej skali (np. wydobywanie kruszyw, usługi górnicze), co wiąże się z ograniczoną presją ze strony interesariuszy oraz niską ekspozycją na rynki kapitałowe. W przeciwieństwie do dużych przedsiębiorstw górniczych, MŚP rzadko ujawniają informacje niefinansowe, co ogranicza motywację do publikowania raportów (Ortiz-Martínez i Marín-Hernández, 2024; Ragulskis i in., 2026).

Asymetria regulacyjna dodatkowo wpływa na ograniczoną widoczność ESG w MŚP. Obowiązki raportowania wynikające z dyrektywy CSRD obejmują przede wszystkim duże przedsiębiorstwa i spółki notowane, natomiast MŚP pozostają poza bezpośrednim zakresem regulacji, przez co wdrażanie ESG ma charakter dobrowolny (European Commission, 2025a; European Commission, 2025b). W odpowiedzi na tę lukę opracowywane są uproszczone standardy, takie jak VSME, jednak ich implementacja pozostaje na wczesnym etapie (European Commission, 2025c).

Ograniczona dostępność danych środowiskowych i społecznych w MŚP sektora wydobywczego stanowi istotną barierę w przygotowaniu rzetelnych raportów ESG. Brak systemów monitorowania emisji, zużycia energii czy rekultywacji terenu oraz potencjalnie negatywny wpływ działalności na środowisko powodują, że przedsiębiorstwa zachowują ostrożność w zakresie ujawniania informacji bez przygotowania strategicznego i komunikacyjnego (Ragulskis i in., 2026).

W efekcie działania ESG w MŚP mają głównie charakter operacyjny, a nie raportowy. Firmy podejmują inicjatywy zgodne z ideą zrównoważonego rozwoju, takie jak poprawa efektywności energetycznej czy ograniczanie zużycia surowców, jednak nie są one formalizowane w postaci ustandaryzowanych raportów (Ortiz-Martínez i Marín-Hernández, 2024).

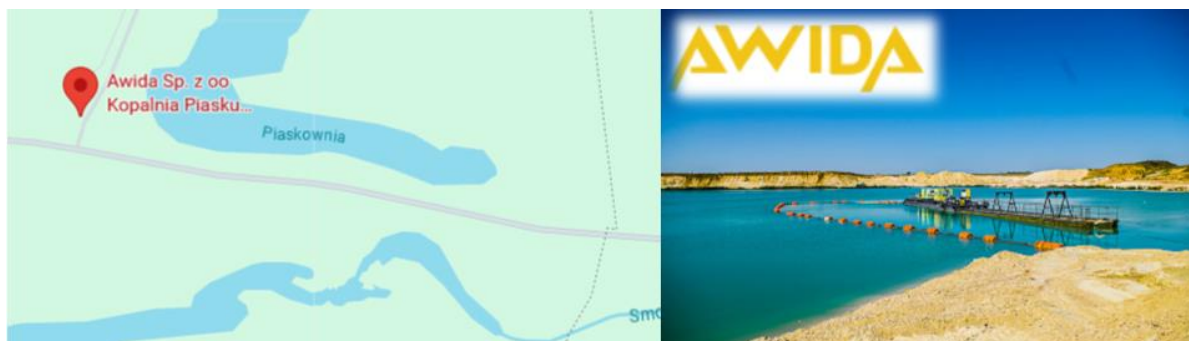
Brak zidentyfikowanych przykładów MŚP sektora wydobywczego publikujących raporty ESG należy interpretować jako istotny wynik badania, wskazujący na lukę badawczą oraz niski poziom dojrzałości raportowania ESG w tej grupie przedsiębiorstw. Jednocześnie podkreśla potrzebę rozwoju narzędzi i standardów dostosowanych do MŚP, umożliwiających proporcjonalne i

ekonomicznie uzasadnione wdrażanie zasad zrównoważonego rozwoju (European Commission, 2025a; European Commission, 2025b).

6. Dobre praktyki ESG i SLO w MŚP sektora wydobywczego na przykładzie kopalni piasku Awida

Przykładem implementacji dobrych praktyk z zakresu zrównoważonego rozwoju, wpisujących się zarówno w koncepcję ESG, jak i

Rysunek 1. Lokalizacja i Perspektywa rozwoju w duchu SLO kopalni piasku Awida.



Źródło: www.awida.pl

Analiza działalności kopalni Awida wskazuje na rosnące znaczenie integracji aspektów środowiskowych, społecznych i zarządczych w funkcjonowaniu małych i średnich przedsiębiorstw sektora wydobywczego. W obszarze środowiskowym szczególną uwagę zwraca podejście do rekultywacji terenów pogórnich, które wykracza poza standardowe działania naprawcze. Planowana i wymagana jest rekultywacja wodna. Jednocześnie, wraz z rozwojem akceptacji społecznej (SLO), prowadzonymi konsultacjami społecznymi oraz rozwojem projektu ValorWaste, można zakładać wzrost akceptacji dla koncepcji rekultywacji wyrobisk w kierunku funkcji rekreacyjnych. W tym ujęciu rozwiązanie wspierające turystykę zakłada przekształcenie wyrobisk w zbiorniki wodne o funkcjach rekreacyjnych, z uwzględnieniem kształtowania linii brzegowej, zapewnienia jakości wód oraz rozwoju infrastruktury sprzyjającej aktywności społecznej, takiej jak ścieżki pieszo-rowerowe czy kąpieliska. Działania te wpisują się w ideę gospodarki o obiegu zamkniętym oraz zrównoważonego zagospodarowania przestrzeni przemysłowej.

Istotnym elementem dobrych praktyk realizowanych przez przedsiębiorstwo jest aktywne budowanie relacji z interesariuszami lokalnymi, co znajduje odzwierciedlenie w organizacji wydarzeń o charakterze edukacyjno-dialogowym. Przykładem jest warsztat „Social Licence to Operate – RM-SLO-

Social Licence to Operate (SLO), jest działalność przedsiębiorstwa **Awida – Kopalnia Piasku Bystrzyca**. Podmiot ten prowadzi eksploatację surowca na poziomie około 400 tys. ton rocznie, obejmując obszar około 20 ha, a wydobywany piasek stanowi istotny komponent w produkcji materiałów budowlanych, w tym bloczków silikatowych SILKA. Lokalizację oraz perspektywę rozwoju kopalni piasku Awida w duchu SLO przedstawiono na rysunku 1.

PLUS-HUB”, który odbył się w październiku 2025 roku i zgromadził przedstawicieli środowisk naukowych, administracji publicznej, biznesu oraz organizacji pozarządowych. Celem spotkania była wymiana doświadczeń oraz wypracowanie narzędzi wspierających dialog społeczny i akceptację działalności wydobywczej.

Działania te wskazują, że koncepcja SLO w przypadku MŚP może przyjmować formę praktycznych narzędzi zarządzania relacjami społecznymi, obejmujących edukację, transparentną komunikację oraz włączanie społeczności lokalnych w procesy decyzyjne. Szczególnie istotne jest zaangażowanie instytucji edukacyjnych oraz mieszkańców regionu, co sprzyja budowaniu długoterminowego zaufania i ograniczaniu konfliktów społecznych związanych z działalnością wydobywczą.

Z perspektywy ładu korporacyjnego warto podkreślić współpracę przedsiębiorstwa z jednostkami naukowymi, w tym z Instytutem Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, oraz udział w projektach badawczo-rozwojowych współfinansowanych ze środków Unii Europejskiej, takich jak RM-SLO-PLUS-HUB czy VALORWASTE. Integracja działalności operacyjnej z projektami badawczymi oraz inicjatywami edukacyjnymi świadczy o rosnącej profesjonalizacji zarządzania ESG w MŚP oraz o

dążeniu do wdrażania innowacyjnych modeli zarządzania zrównoważonym rozwojem.

Przypadek kopalni Awida potwierdza, że mimo braku formalnego obowiązku raportowania ESG, MŚP sektora wydobywczego mogą skutecznie wdrażać działania zgodne z zasadami zrównoważonego rozwoju. Działania te mają jednak najczęściej charakter operacyjny i komunikacyjny, a nie sformalizowany raportowo, co wpisuje się w zidentyfikowaną w niniejszym artykule lukę pomiędzy praktyką ESG a jej formalnym ujawnianiem. Jednocześnie stanowią one istotny potencjał do dalszej formalizacji raportowania, w szczególności w oparciu o standard VSME.

7. Podsumowanie, wnioski i rekomendacje

Analiza literatury oraz przegląd praktyk rynkowych wskazują, że poziom formalizacji działań ESG MŚP sektora wydobywczego pozostaje diametralnie niski. Brak publicznie dostępnych raportów wynika zarówno z ograniczeń finansowych i organizacyjnych, jak i ze specyfiki branży, w której MŚP działają lokalnie, często w niszowych segmentach rynku (np. wydobywanie kruszyw, usługi serwisowe). Dobrowolny charakter raportowania, ograniczona presja interesariuszy oraz niewystarczająca wiedza na temat nowych regulacji, takich jak dyrektywa CSRD czy Cyfrowe Paszporty Produktów (DPP), dodatkowo ograniczają widoczność ESG w tym sektorze. W praktyce działania zrównoważonego rozwoju w MŚP mają charakter operacyjny i nie są formalizowane w ramach standardowych raportów ESG.

Na podstawie przeprowadzonej analizy sformułowano następujące wnioski:

- **Niski poziom dojrzałości raportowania ESG** – MŚP sektora wydobywczego rzadko publikują formalne raporty ESG, koncentrując się głównie na działaniach operacyjnych zgodnych z zasadami zrównoważonego rozwoju.
- **Brak świadomości regulacyjnej i wiedzy eksperckiej** – większość przedsiębiorstw nie zna pojęcia ESG, obowiązujących wymogów CSRD ani narzędzia DPP, co ogranicza możliwość przygotowania raportów oraz planowania działań zgodnych z wymogami Unii Europejskiej.
- **Ograniczenia organizacyjne i finansowe** – małe firmy napotykają trudności w pozyskaniu ekspertów, wdrożeniu systemów monitorowania oraz opracowaniu raportów zgodnych ze standardami takimi jak VSME.
- **Specyfika branży a presja interesariuszy** – lokalny charakter działalności MŚP oraz

niewielka ekspozycja na rynki kapitałowe zmniejszają motywację do formalnego raportowania.

- **Luka badawcza** – wynika z ograniczonej liczby publikacji oraz studiów przypadku dotyczących wdrażania ESG w małych i średnich przedsiębiorstwach sektora wydobywczego, co utrudnia ocenę rzeczywistego poziomu implementacji tych standardów. W konsekwencji wskazuje się na potrzebę opracowania dedykowanych, uproszczonych narzędzi i standardów umożliwiających proporcjonalne wdrażanie ESG w MŚP.

Uzupełnieniem powyższych wniosków jest przykład praktyki sektorowej, który wskazuje na stopniowe wdrażanie elementów zrównoważonego rozwoju w małych i średnich przedsiębiorstwach sektora wydobywczego. Kopalnia piasku Awida stanowi przykład podmiotu MŚP aktywnie uczestniczącego w inicjatywach związanych z budowaniem Społecznej Licencji na Działalność (SLO) oraz rozwojem dialogu z interesariuszami lokalnymi. W ramach współpracy z ośrodkami naukowymi oraz projektów takich jak RM-SLO-PLUS-HUB, przedsiębiorstwo angażuje się w działania o charakterze edukacyjnym i partycypacyjnym, obejmujące m.in. warsztaty, wizyty terenowe oraz wymianę wiedzy pomiędzy przedstawicielami nauki, administracji publicznej i sektora wydobywczego. Przykład ten wskazuje, że w warunkach braku formalnego raportowania ESG MŚP mogą implementować jego elementy w formie praktyk operacyjnych i komunikacyjnych, stanowiących etap przejściowy w kierunku pełnej implementacji standardów zrównoważonego rozwoju.

Na podstawie zidentyfikowanych wniosków sformułowano następujące rekomendacje dla MŚP sektora wydobywczego:

- 1) **Wsparcie instytucjonalne** – MŚP powinny korzystać z pomocy instytucji państwowych i branżowych (PARP, PFR, PAIH) w zakresie doradztwa, szkoleń oraz pozyskiwania finansowania projektów ESG.
- 2) **Stopniowe wdrażanie standardów VSME** – rozpoczęcie od kluczowych wskaźników środowiskowych, społecznych i ładu korporacyjnego istotnych dla działalności wydobywczej, takich jak emisje pyłów, zużycie energii, gospodarka odpadami i bezpieczeństwo pracy.
- 3) **Budowanie świadomości regulacyjnej** – prowadzenie edukacji przedsiębiorców w zakresie CSRD, ESRS oraz Digital Product

Passport, aby przygotować MŚP do przyszłych obowiązków raportowych.

- 4) **Digitalizacja i uproszczone narzędzia monitorowania** – wdrażanie systemów umożliwiających rejestrację zużycia energii, wody, emisji i odpadów w sposób proporcjonalny do skali działalności.
- 5) **Realizacja projektów we współpracy z nauką i organizacjami NGO** – rozwijanie partnerstw z jednostkami naukowymi oraz organizacjami pozarządowymi w zakresie wdrażania i doskonalenia praktyk ESG.
- 6) **Prowadzenie dialogu społecznego i transparentne raportowanie** – wzmacnianie relacji z interesariuszami lokalnymi poprzez otwartą komunikację oraz systematyczne ujawnianie informacji dotyczących działań środowiskowych i społecznych.
- 7) **Wzmacnianie motywacji poprzez integrację z grupami kapitałowymi i klastrami** – MŚP mogą zwiększyć swoje zaangażowanie w ESG poprzez współpracę z większymi przedsiębiorstwami lub zrzeszanie się w klastrach branżowych, co ułatwia dostęp do wiedzy, zasobów oraz praktyk raportowania.
- 8) **Promocja dobrych praktyk i transparentności** – dokumentowanie działań ESG, nawet w formie uproszczonej, pozwala zwiększyć wiarygodność wobec klientów, partnerów biznesowych i lokalnych społeczności, jednocześnie tworząc podstawę do pełnego raportowania w przyszłości.

Literatura

- [1]. ARP (2022) *Raport o stanie sektora górnictwa węgla kamiennego w Polsce*. Warszawa: Agencja Rozwoju Przemysłu. Dostępne na: https://polskirynekwegla.pl/sites/default/files/StPu/202204/2022.12_%C5%9Arodowiskowe%20skutki%20dzia%C5%82alno%C5%9Bci%20g%C3%B3rnictwa%20w%C4%99gla%20kamiennego%20w%20Polsce_korekta.pdf [dostęp: 10.04.2026]
- [2]. Bumech (2023) *Sprawozdanie roczne*. Katowice: Bumech S.A. Dostępne na: <https://i.gremicdn.pl/file/52019fc5b789dc52d43f7ba3038d6dde/20230919-183938-0947142856-jsf-ih-2023.pdf> [dostęp: 10.04.2026]
- [3]. Deloitte (2023) *Tracking the trends 2023. The top 10 trends transforming the future of mining*. Deloitte Insights. Dostępne na: https://www.deloitte.com/content/dam/assets-shared/docs/industries/energy-resources-industrials/2024/gx-Tracking-the-trends-2023_Digital_V2.pdf [dostęp: 10.04.2026]
- [4]. EFRAG (2023) *Final Draft ESRS Set 1*. European Financial Reporting Advisory Group. Dostępne na: <https://www.efrag.org/en/draft-simplified-esrs> [dostęp: 10.04.2026]
- [5]. EFRAG (2024) *Voluntary Sustainability Reporting Standard for SMEs (VSME) – Exposure Draft*. European Financial Reporting Advisory Group. Dostępne na: <https://www.efrag.org/sites/default/files/sites/wepublishing/SiteAssets/VSME%20Standard.pdf> [dostęp: 10.04.2026]
- [6]. European Commission (2022) *Directive (EU) 2022/2464 of the European Parliament and of the Council amending Directive 2013/34/EU as regards corporate sustainability reporting (CSRD)*. Brussels: European Commission. Dostępne na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32022L2464> [dostęp: 10.04.2026]
- [7]. European Commission (2023a) *Annual Report on European SMEs 2023/2024*. Brussels: European Commission. Dostępne na: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC138678> [dostęp: 10.04.2026]
- [8]. European Commission (2023b) *Commission Delegated Regulation (EU) 2023/2772 supplementing Directive 2013/34/EU as regards European Sustainability Reporting Standards (ESRS)*. Brussels: European Commission. Dostępne na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32023R2772> [dostęp: 10.04.2026]
- [9]. European Commission (2025a) *Questions and Answers on the implementation of CSRD and ESRS*. Dostępne na: https://finance.ec.europa.eu/financial-markets/company-reporting-and-auditing/company-reporting/corporate-sustainability-reporting_en [dostęp: 10.04.2026]
- [10]. European Commission (2025b) *Voluntary sustainability reporting standard for SMEs (VSME) – Recommendation and supporting materials*. Dostępne na: https://finance.ec.europa.eu/publications/commision-presents-voluntary-sustainability-reporting-standard-ease-burden-smes_en [dostęp: 10.04.2026]

- [11]. European Commission (2025c) *Commission presents voluntary sustainability reporting standard to ease burden on SMEs*. Dostępne na: https://finance.ec.europa.eu/publications/commission-presents-voluntary-sustainability-reporting-standard-ease-burden-smes_en [dostęp: 10.04.2026]
- [12]. Fikru, M.G., Brodmann, J., Eng, L.L. Grant, J.A. (2024) 'ESG ratings in the mining industry: Factors and implications', *The Extractive Industries and Society*, 20, 101521. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2024.101521>
- [13]. Forum Energii (2023) *Transformacja energetyczna Polski – wyzwania i kierunki*. Warszawa. Dostępne na: <https://www.forum-energii.eu/download/pobierz/transformacja-energetyczna-w-polsce-edycja-2023>
- [14]. Grenevia (2023) *Annual Report 2023*. Dostępne na: <https://grenevia.com/en/report/individual-annual-report-of-grenevia-s-a-for-the-year-2023/> [dostęp: 10.04.2026]
- [15]. GS1 Polska (2024) *Raport: ESG w małych i średnich przedsiębiorstwach w Polsce*. Warszawa: GS1 Polska. Dostępne na: https://gs1pl.org/app/uploads/2024/10/Przedsiębiorcy_MSP_a_ESG_diagnoza.pdf [dostęp: 10.04.2026]
- [16]. Główny Urząd Statystyczny. (2023) *Działalność przedsiębiorstw niefinansowych w Polsce*. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny. Dostępne na: https://stat.gov.pl/download/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5502/2/20/1/dzialalnosc_przedsiębiorstw_niefinansowych_w_2023.pdf [dostęp: 10.04.2026]
- [17]. Główny Urząd Statystyczny. (2025). *Przedsiębiorstwa aktywne w 4 kwartale 2024 r.* https://stat.gov.pl/files/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5502/42/1/1/przedsiębiorstwa_aktywne_w_4_kwartale_2024_r.pdf
- [18]. ICM (2024) *Mining Principles. Performance Expectations*. Dostępne na: <https://www.icmm.com/en-gb/our-principles/mining-principles/mining-principles>
- [19]. IEA (2023) *World Energy Outlook 2023*. Paris: International Energy Agency. Dostępne na: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023> [dostęp: 10.04.2026]
- [20]. KPMG (2024) *Survey of Sustainability Reporting*. Dostępne na: <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/ro/pdf/2024/the-move-to-mandatory-reporting-report.pdf> [dostęp: 10.04.2026]
- [21]. Krajowa Izba Gospodarcza (2025) *Poradnik do Wytycznych Systemu Zarządzania Zrównoważonym Rozwojem dla MŚP*. Warszawa: KIG. Dostępne na: <https://kig.pl/uslugi/zrownowazony-rozwoj/esg-standard/> [dostęp: 10.04.2026]
- [22]. McKinsey (2023) *The future of mining: How technology is transforming the industry*. Dostępne na: <https://www.mckinsey.com/capabilities/tech-and-ai/our-insights/the-top-trends-in-tech-2023>
- [23]. MEERI PAS (2025) *Report from the Workshop "Social Licence to Operate – RM-SLO-PLUS-HUB"*, Awida Centre – Leśna Woda, Błota, 8–9 October 2025. Kraków: Mineral and Energy Economy Research Institute of the Polish Academy of Sciences. Raport wewnętrzny (niepublikowany).
- [24]. Ortiz Martínez, E., Marín Hernández, S. (2024) 'Sustainability reporting in European SMEs', *Journal of Innovation and Entrepreneurship*. <https://doi.org/10.1007/s13132-023-01386-7>
- [25]. PARP (2023) *Raport o stanie sektora małych i średnich przedsiębiorstw w Polsce*. Warszawa: Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości. Dostępne na: <https://www.parp.gov.pl/component/publications/publication/raport-o-stanie-sektora-malych-i-srednich-przedsiębiorstw-w-polsce-2023> [dostęp: 10.04.2026]
- [26]. PwC (2022) *Mine 2022: A critical transition*. Dostępne na: https://www.pwc.com/gx/en/energy-utilities-mining/assets/global_mine_report_2022.pdf [dostęp: 10.04.2026]
- [27]. Ragulskis, T., Darškuviene V., Kizys R. & Misiūnas D. (2026) 'ESG assessment methodologies for SMEs', *Annals of Operations Research*. <https://doi.org/10.1007/s10479-026-07045-9>
- [28]. Rządowe Centrum Legislacji / Ministerstwo Finansów (2025) *Zalecenie Komisji Europejskiej w sprawie dobrowolnego standardu raportowania ESG (VSME)*. Dostępne na: <https://www.gov.pl/web/finanse/zalecenie-komisji-europejskiej-w-sprawie-dobrowolnego-standardu-raportowania-esg-vsme> [dostęp: 10.04.2026]

Streszczenie

Sektor wydobywczy w Polsce, w szczególności segment małych i średnich przedsiębiorstw (MŚP), przechodzi obecnie głęboką transformację wynikającą z rosnących wymogów regulacyjnych Unii Europejskiej oraz narastającej presji na wdrażanie zasad zrównoważonego rozwoju i ESG. Artykuł analizuje uwarunkowania oraz bariery raportowania ESG w MŚP działających w branży wydobywczej, ze szczególnym uwzględnieniem dyrektywy CSRD, poddanej rewizji w ramach pakietu Omnibus, standardów ESRS oraz dobrowolnych ram raportowania VSME.

W opracowaniu przedstawiono strukturę sektora MŚP w górnictwie oraz jego znaczenie w gospodarce surowcowej, obejmujące zarówno działalność wydobywczą, jak i usługi okołogórnictwa. Wykazano, że mimo rosnącej świadomości znaczenia ESG poziom formalnego raportowania pozostaje bardzo niski, a działania w zakresie zrównoważonego rozwoju mają głównie charakter operacyjny i nie są systematycznie ujawniane.

Analiza trzech filarów ESG (środowiskowego, społecznego i ładu korporacyjnego) wskazuje, że sektor wydobywczy podlega szczególnie wysokim wymaganiom środowiskowym, jednak MŚP napotykają istotne ograniczenia we wdrażaniu standardów raportowania. Do kluczowych barier zaliczono brak świadomości regulacyjnej, ograniczenia finansowe i organizacyjne, niski poziom presji interesariuszy oraz deficyt wiedzy eksperckiej.

Wyniki badania ujawniają również istotną lukę badawczą związaną z brakiem publicznie dostępnych raportów ESG wśród MŚP sektora wydobywczego. Podkreślono potrzebę wdrażania uproszczonych ram raportowania, w szczególności VSME, a także wsparcia instytucjonalnego i edukacyjnego, które umożliwi stopniową profesjonalizację raportowania ESG w tej grupie przedsiębiorstw. Analizę uzupełniają przykłady dobrych praktyk, w tym kopalnia piasku Awida, która uczestniczy w inicjatywach związanych ze Społeczną Licencją na Działalność (SLO) oraz projektem RM-SLO-PLUS-HUB, wspierając dialog z interesariuszami oraz działania edukacyjne. Przypadek ten ilustruje możliwość nieformalnego wdrażania elementów ESG w MŚP sektora wydobywczego.

Słowa kluczowe: raportowanie ESG, sektor wydobywczy, MŚP, raportowanie zrównoważonego rozwoju, OMNIBUS, ESRS, standard VSME, gospodarka obiegu zamkniętego, przemysł wydobywczy.

Barriers and Enablers of ESG Reporting in SMEs in the Mining Sector

Abstract

The mining sector in Poland, particularly the SME segment, is currently undergoing a profound transformation driven by increasing European Union regulatory requirements and the growing pressure to implement sustainability and ESG principles. The article examines the determinants and barriers to ESG reporting among SMEs in the extractive sector, with particular focus on the CSRD Directive, as revised under the Omnibus package, the ESRS standards, and the voluntary VSME reporting framework.

The study outlines the structure of the SME sector in mining and its significance within the mineral resources economy, encompassing both extraction activities and mining-related services. It demonstrates that, despite increasing awareness of ESG, the level of formal reporting remains very low, while sustainability-related actions are primarily operational and not systematically disclosed.

The analysis of the three ESG pillars (Environmental, Social, and Governance) shows that the mining sector is subject to particularly strong environmental requirements; however, SMEs face significant constraints in implementing reporting standards. The key barriers identified include a lack of regulatory awareness, financial and organisational limitations, low stakeholder pressure, and a deficit of expert knowledge.

The findings also reveal a significant research gap related to the absence of publicly available ESG reports among mining SMEs. The study highlights the need for simplified reporting frameworks, particularly VSME, as well as institutional and educational support to enable the gradual professionalisation of ESG reporting within this group of enterprises. The analysis is complemented by examples of good practices, including the Awida sand mine, which participates in SLO-related initiatives and the RM-SLO-PLUS-HUB project, fostering stakeholder dialogue and educational activities. This case illustrates the potential for informal implementation of ESG elements within mining SMEs.

Keywords: ESG reporting, mining sector, SMEs, sustainability reporting, OMNIBUS, ESRS, VSME standard, circular economy, extractive industry.

Implementacja zasad GOZ w procesie projektowania budynków – przegląd podejść i technologii

1. Wprowadzenie

Sektor budownictwa należy do najbardziej zasobo- i energochłonnych obszarów gospodarki, odpowiadając za około 35–40% globalnych emisji gazów cieplarnianych oraz blisko 40% zużycia energii końcowej. W Unii Europejskiej budynki odpowiadają również za około 35% emisji CO₂ oraz ponad 40% zużycia energii, co czyni ten sektor jednym z kluczowych obszarów transformacji klimatycznej. Dodatkowo budownictwo generuje około jedną trzecią wszystkich odpadów w UE oraz zużywa nawet 50% wydobywanych surowców, co wskazuje na jego dominujący wpływ na przepływy materiałowe w gospodarce (European Commission, 2024; EEA, 2024). W tym kontekście gospodarka o obiegu zamkniętym (GOZ) staje się jednym z najważniejszych paradygmatów transformacji sektora budowlanego, umożliwiając redukcję zużycia zasobów oraz emisji w całym cyklu życia budynków.

Gospodarka o obiegu zamkniętym w sektorze budownictwa zakłada odejście od linearnego modelu „weź–wybuduj–zużyj–zlikwiduj” na rzecz systemu, w którym materiały i komponenty pozostają w obiegu tak długo, jak to możliwe. Kluczową rolę w tym procesie odgrywa etap projektowania, który determinuje przyszłą możliwość adaptacji, demontażu oraz recyklingu budynków. W literaturze podkreśla się, że integracja zasad circular economy na etapie projektowym jest warunkiem koniecznym skutecznego zamykania obiegów materiałowych w budownictwie (Timm et al., 2023).

Wśród najważniejszych podejść wspierających GOZ w projektowaniu budynków wyróżnia się projektowanie z myślą o demontażu (design for disassembly), projektowanie adaptacyjne, modularność konstrukcji oraz wykorzystanie materiałów wtórnych. Szczególne znaczenie zyskują także technologie cyfrowe, takie jak BIM (Building Information Modeling), które umożliwiają zarządzanie informacją o budynku w całym jego cyklu życia. Najnowsze badania wskazują, że integracja BIM z koncepcją materiałowych paszportów oraz planowaniem demontażu pozwala na skuteczniejsze odzyskiwanie komponentów budowlanych i zwiększenie ich

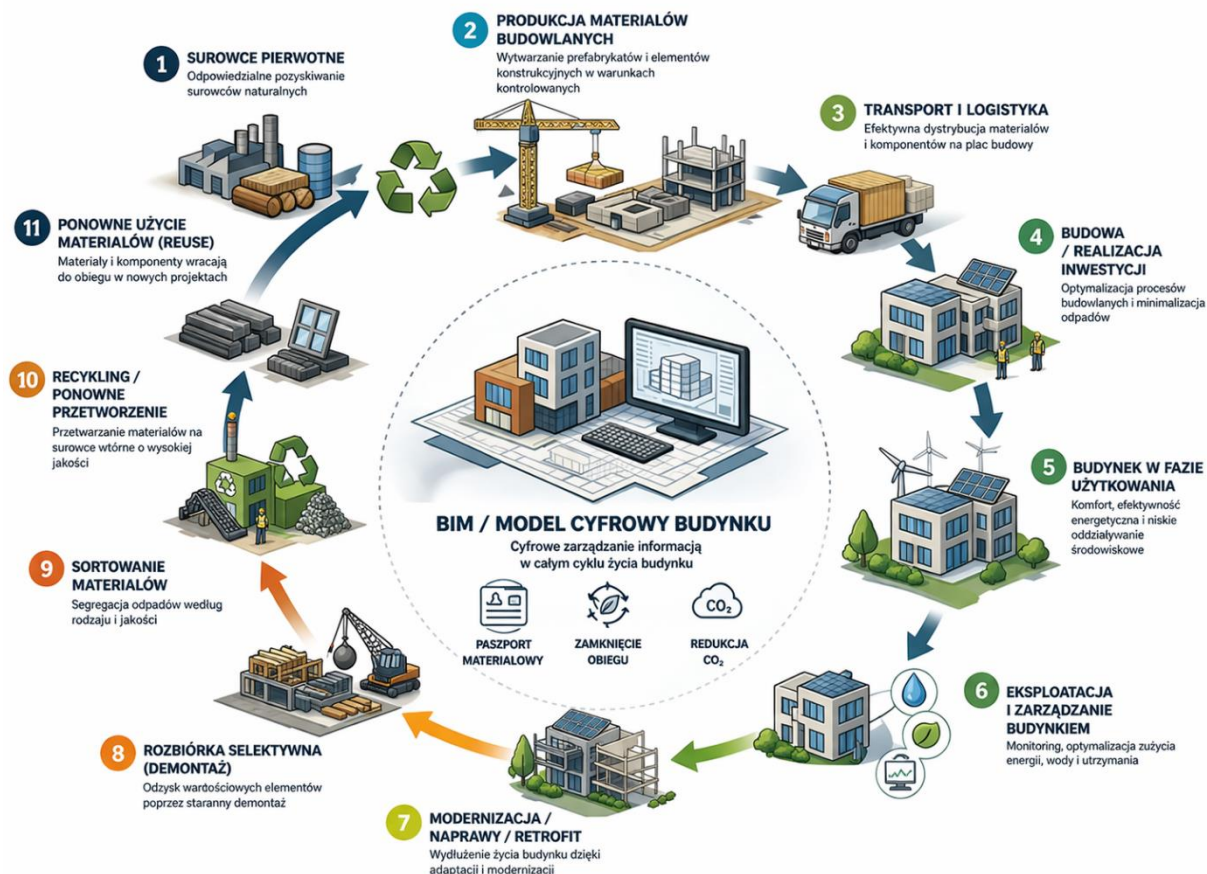
ponownego użycia (Rodrigues et al., 2023; Tomczak et al., 2024).

Równolegle rozwijane są rozwiązania takie jak materiał passports, które stanowią cyfrowe repozytoria informacji o składzie, właściwościach i potencjale ponownego wykorzystania materiałów budowlanych. Ich integracja z BIM oraz narzędziami analitycznymi staje się jednym z kluczowych kierunków badań nad cyfryzacją GOZ w budownictwie (Gómez-Gil et al., 2024). Jednocześnie podkreśla się istnienie istotnych barier wdrożeniowych, takich jak brak standaryzacji danych, ograniczona interoperacyjność systemów oraz niewystarczająca dostępność informacji o cyklu życia materiałów (Frontiers, 2023).

Celem niniejszego artykułu jest przegląd aktualnych podejść oraz technologii wspierających implementację zasad gospodarki o obiegu zamkniętym w procesie projektowania budynków. Analiza obejmuje zarówno rozwiązania koncepcyjne, jak i narzędzia cyfrowe, ze szczególnym uwzględnieniem BIM, materiałowych paszportów oraz strategii projektowania umożliwiających zamykanie obiegów materiałowych w sektorze budowlanym.

2. Podejścia w projektowaniu budynków w modelu GOZ

Implementacja zasad gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) w architekturze wymaga zasadniczej zmiany podejścia do projektowania budynków, w którym obiekt traktowany jest jako „bank materiałów” możliwych do odzyskania i ponownego wykorzystania po zakończeniu cyklu życia. W literaturze wskazuje się, że kluczową rolę odgrywa tzw. circular design, obejmujący zestaw strategii projektowych ukierunkowanych na wydłużenie życia materiałów, komponentów i całych struktur budowlanych (Pomponi & Moncaster, 2017; Timm et al., 2023). Na Rysunku 1 przedstawiono circularny model cyklu życia budynku w architekturze, obrazujący zamknięty obieg materiałów oraz procesy ich ponownego wykorzystania, regeneracji i recyklingu w ujęciu zgodnym z zasadami gospodarki o obiegu zamkniętym.



Rysunek 1. Cyrkularny model cyklu życia budynku w architekturze

Źródło: Opracowanie własne

2.1. Design for Disassembly (DfD) – projektowanie pod demontaż

Design for Disassembly (DfD) zakłada projektowanie budynków w taki sposób, aby ich elementy mogły być łatwo i bezpiecznie demontowane bez utraty wartości materiałowej. Podejście to umożliwia ponowne wykorzystanie komponentów konstrukcyjnych, ograniczając potrzebę recyklingu materiałowego, który wiąże się z degradacją jakości surowca. Kluczowe znaczenie mają tutaj połączenia mechaniczne zamiast chemicznych, standaryzacja elementów oraz dostępność konstrukcji (Timm et al., 2023). Badania wskazują, że DfD może znacząco zwiększyć potencjał odzysku materiałów w budynkach, szczególnie w konstrukcjach stalowych i drewnianych (Hernández, 2025).

Przykłady:

- Brummen Town Hall (Holandia) – budynek zaprojektowany z myślą o demontażu, z prefabrykowanych elementów stalowych możliwych do ponownego użycia.
- Circle House (Dania) – projekt mieszkalny w 90% demontowalny, wykorzystujący

standardowe komponenty i systemy połączeń umożliwiające pełny odzysk materiałów.

- Systemy fasad modułowych stosowane np. przez Arup w projektach biurowych.

2.2. Design for Adaptability – projektowanie adaptacyjne

Projektowanie adaptacyjne koncentruje się na tworzeniu budynków zdolnych do zmiany funkcji w czasie bez konieczności ich wyburzania. Obejmuje to elastyczne układy przestrzenne, systemy modułowe oraz konstrukcje umożliwiające przebudowę. W literaturze podkreśla się, że adaptacyjność budynków znacząco wydłuża ich cykl życia oraz ogranicza emisje związane z nową zabudową (Foster, 2020). Podejście to jest szczególnie istotne w kontekście urbanizacji oraz zmieniających się potrzeb użytkowników.

Przykłady:

- Tate Modern (Londyn) – adaptacja dawnej elektrowni na muzeum sztuki współczesnej.
- The High Line buildings (Nowy Jork) – adaptacja infrastruktury przemysłowej do funkcji publicznej i komercyjnej.

- Nowoczesne biurowce projektowane w systemie „open plan core”, np. projekty BIG (Bjarke Ingels Group).

2.3. Reuse / Refurbishment First

Strategia „reuse/refurbishment first” zakłada priorytetowe podejście do ponownego wykorzystania istniejących budynków i ich modernizacji zamiast realizacji nowych inwestycji. Jest to jedna z najbardziej efektywnych metod redukcji śladu węglowego w budownictwie, ponieważ emisje związane z materiałami (tzw. embodied carbon) są zazwyczaj niższe w przypadku renowacji niż budowy nowych obiektów (World Green Building Council, 2023). Najnowsze analizy wskazują, że modernizacja istniejących struktur może zredukować emisje CO₂ nawet o kilkadziesiąt procent w porównaniu z nową zabudową (Fernandes & Ferrao 2025).

Przykłady:

- King’s Cross regeneration (Londyn) – rewitalizacja terenów poprzemysłowych zamiast nowej zabudowy.
- Gasometer City (Wiedeń) – adaptacja zbiorników gazowych na mieszkania i biura.
- Fabrica de Cultura (Hiszpania) – adaptacja obiektu przemysłowego na centrum kultury.

2.4. Modular Construction – budownictwo modułowe

Budownictwo modułowe polega na prefabrykacji elementów budynków w kontrolowanych warunkach fabrycznych, a następnie ich montażu na miejscu inwestycji. Podejście to zwiększa efektywność materiałową, redukuje odpady budowlane oraz umożliwia łatwiejszy demontaż i ponowne wykorzystanie komponentów. W kontekście GOZ modułowość wspiera standaryzację i cyrkulację materiałów w systemie budowlanym (Kamali & Hewage, 2016; Timm et al., 2023).

Przykłady:

- BoKlok (Szwecja, IKEA + Skanska) – modułowe budownictwo mieszkaniowe oparte na standaryzacji.
- The Stack (USA) – 21-piętrowy budynek modułowy w Nowym Jorku.
- Lego-like construction systems w projektach Katerra (USA).

2.5. Biomimicry i low-impact design

Biomimicry w architekturze polega na inspirowaniu się rozwiązaniami występującymi w naturze w celu tworzenia bardziej efektywnych i zrównoważonych struktur. W połączeniu z podejściem low-impact design umożliwia projektowanie budynków o minimalnym wpływie środowiskowym poprzez

redukcję zużycia energii, materiałów i emisji na każdym etapie cyklu życia (Metwally, 2025). Współczesne badania wskazują, że integracja zasad biomimetycznych z GOZ może wspierać tworzenie systemów budowlanych o wysokiej efektywności energetycznej i materiałowej.

Przykłady biomimicry:

- Eastgate Centre (Zimbabwe) – system wentylacji inspirowany termitierami, redukujący zużycie energii na klimatyzację.
- Fasady inspirowane strukturą liści (np. projekty fasad adaptacyjnych reagujących na światło).

Przykłady low-impact design:

- budynki pasywne (Passivhaus standard),
- konstrukcje z drewna CLT (Cross Laminated Timber),
- projekty Snøhetta i Foster + Partners z niskim śladem węglowym.

3. Technologie wspierające implementację zasad GOZ w budownictwie

Wdrażanie zasad gospodarki o obiegu zamkniętym w budownictwie wymaga wykorzystania szeregu nowoczesnych technologii, które umożliwiają zarządzanie cyklem życia budynku, optymalizację zużycia zasobów oraz zwiększenie możliwości ponownego wykorzystania materiałów. Współczesne badania wskazują, że cyfryzacja sektora budowlanego oraz rozwój narzędzi projektowych i analitycznych stanowią jeden z kluczowych warunków skutecznej implementacji GOZ w środowisku zabudowanym (Rodrigo et al., 2024).

Jednym z fundamentalnych narzędzi wspierających transformację sektora jest Building Information Modeling (BIM), który umożliwia integrację danych geometrycznych, technicznych oraz materiałowych w jednym cyfrowym modelu budynku. Dzięki temu możliwe staje się nie tylko lepsze zarządzanie procesem inwestycyjnym, ale również analiza cyklu życia obiektu oraz identyfikacja potencjalnych zasobów możliwych do odzysku. W ujęciu GOZ BIM pełni funkcję platformy umożliwiającej planowanie demontażu oraz ocenę wartości materiałów wbudowanych w konstrukcję (Xue et al., 2021). Rozwinięciem tego podejścia są cyfrowe paszporty materiałowe, które pozwalają na szczegółowe śledzenie komponentów budowlanych w całym cyklu życia budynku. Zawierają one dane dotyczące składu materiałowego, właściwości środowiskowych oraz możliwości recyklingu, co znacząco zwiększa transparentność łańcucha wartości i wspiera

podejmowanie decyzji projektowych zgodnych z zasadami GOZ (Meng et al., 2023).

W tym kontekście szczególne znaczenie mają także material passports, które traktują budynki jako swoiste „banki materiałów”. Każdy element konstrukcyjny posiada cyfrową kartę zawierającą informacje o jego trwałości, wartości oraz potencjale ponownego użycia. Podejście to wspiera przejście od liniowego modelu wykorzystania zasobów do modelu cyrkularnego, w którym materiały pozostają w obiegu tak długo, jak jest to możliwe. W praktyce rozwiązania te są wdrażane m.in. w krajach Europy Zachodniej, gdzie integruje się je z systemami zarządzania nieruchomościami, co umożliwia efektywne planowanie odzysku materiałów na etapie końca życia budynku (KC et al., 2025).

Istotnym narzędziem wspierającym projektowanie zgodne z GOZ jest również Life Cycle Assessment (LCA), czyli ocena cyklu życia budynku. Metoda ta umożliwia ilościową analizę wpływu środowiskowego na wszystkich etapach życia obiektu – od pozyskania surowców, przez proces produkcji i eksploatacji, aż po fazę rozbiórki i recyklingu. Integracja LCA z narzędziami cyfrowymi, w tym BIM, pozwala na podejmowanie bardziej świadomych decyzji projektowych już na etapie koncepcji inwestycji. Badania wskazują, że zastosowanie LCA może znacząco redukować emisje związane z materiałami budowlanymi oraz zużycie energii w całym cyklu życia budynku (Fnais et al., 2022).

Kolejnym istotnym elementem transformacji jest rozwój prefabrykacji oraz budownictwa modułowego. Technologia ta polega na wytwarzaniu elementów budynku w warunkach fabrycznych, a następnie ich montażu na placu budowy. Takie podejście pozwala na znaczące ograniczenie strat materiałowych oraz poprawę kontroli jakości procesów budowlanych. Jednocześnie prefabrykacja sprzyja standaryzacji komponentów, co ułatwia ich późniejszy demontaż i ponowne wykorzystanie. W literaturze podkreśla się, że budownictwo modułowe stanowi jedno z najbardziej obiecujących rozwiązań wspierających GOZ w sektorze budowlanym (Plis & Prałat, 2023).

Uzupełnieniem omawianych technologii są zaawansowane systemy recyklingu materiałów budowlanych. Obejmują one procesy sortowania, separacji oraz przetwarzania odpadów budowlanych i rozbiórkowych w celu uzyskania wysokiej jakości surowców wtórnych. Szczególnie istotny jest recykling betonu, stali oraz materiałów mineralnych, które mogą być ponownie wykorzystane w nowych

inwestycjach budowlanych. Rozwój tych technologii stanowi kluczowy element zamykania obiegu materiałów w sektorze i ograniczania presji na zasoby naturalne. Jak wskazują badania, skuteczny rozwój recyklingu jest jednym z podstawowych warunków zwiększenia cyrkularności budownictwa w skali europejskiej (Sakthibala et al., 2025).

Na tle przedstawionych technologii warto wskazać, że również w Polsce obserwuje się stopniowe wdrażanie rozwiązań wspierających gospodarkę o obiegu zamkniętym w budownictwie. Szczególne znaczenie ma rozwój cyfryzacji sektora, w tym implementacja metodyki Building Information Modeling (BIM), która umożliwia lepsze zarządzanie informacją o budynku w całym cyklu jego życia oraz wspiera optymalizację wykorzystania materiałów (Zabielski & Juszczak, 2023). Coraz większe znaczenie zyskuje również wykorzystanie analizy cyklu życia (LCA) w procesie projektowania inwestycji, co pozwala na ograniczenie ich wpływu środowiskowego oraz bardziej świadomy dobór materiałów (Kwiatkowski & Komerska, 2025).

W praktyce rynkowej widoczny jest także rozwój technologii recyklingu odpadów budowlanych i rozbiórkowych, w szczególności przetwarzania gruzu betonowego i ceramicznego na kruszywa wtórne stosowane w budownictwie drogowym i kubaturowym. Rozwiązania te przyczyniają się do ograniczenia zużycia surowców pierwotnych oraz zmniejszenia ilości odpadów kierowanych na składowiska (Jasek et al., 2025). Jednocześnie w literaturze wskazuje się na rosnące znaczenie koncepcji paszportów materiałowych oraz projektowania z myślą o demontażu, które – choć w Polsce nadal rozwijające się – stanowią istotny kierunek dalszej transformacji sektora w stronę modelu cyrkularnego (Witeczek, 2023).

Technologie wspierające GOZ w budownictwie tworzą zintegrowany ekosystem narzędzi cyfrowych, produkcyjnych i analitycznych, które umożliwiają przejście od modelu liniowego do modelu cyrkularnego. Ich wspólne zastosowanie pozwala na znaczące ograniczenie zużycia surowców pierwotnych, redukcję emisji oraz zwiększenie efektywności wykorzystania materiałów w całym cyklu życia budynku.

4. Bariery wdrożenia GOZ w budownictwie

Wdrażanie zasad gospodarki o obiegu zamkniętym w sektorze budownictwa, mimo dynamicznego rozwoju technologii i narzędzi

cyfrowych, napotyka na szereg istotnych barier, które ograniczają tempo transformacji. Do najważniejszych z nich należą wysokie koszty inwestycyjne, brak jednolitych standardów, ograniczenia prawne i rynkowe oraz problemy związane z jakością materiałów wtórnych. W literaturze podkreśla się, że bariery te mają charakter systemowy i wymagają jednoczesnych działań technologicznych, regulacyjnych oraz organizacyjnych (Bello et al., 2026).

Jedną z kluczowych przeszkód w implementacji rozwiązań GOZ są wysokie koszty inwestycyjne związane z wdrażaniem nowych technologii, takich jak BIM, prefabrykacja czy systemy zarządzania materiałami w cyklu życia budynku. W wielu przypadkach inwestorzy postrzegają rozwiązania cyrkularne jako bardziej kapitałochłonne w fazie początkowej, mimo że w dłuższej perspektywie mogą one generować oszczędności operacyjne i środowiskowe. Badania wskazują, że brak mechanizmów finansowych wspierających inwestycje w GOZ znacząco spowalnia ich adaptację w sektorze budowlanym (Adams et al., 2017). Dodatkowo, niepewność dotycząca zwrotu z inwestycji w rozwiązania cyrkularne powoduje ostrożność ze strony deweloperów i wykonawców.

Kolejną istotną barierą jest brak jednolitych standardów technicznych i projektowych dotyczących projektowania cyrkularnego. Obecnie nie istnieje spójny system norm regulujących kwestie takie jak projektowanie pod demontaż, klasyfikacja materiałów wtórnych czy integracja paszportów materiałowych z systemami BIM. Powoduje to fragmentację rynku oraz trudności w porównywaniu i wdrażaniu rozwiązań GOZ w praktyce. Brak standaryzacji stanowi jedną z głównych przeszkód w skalowaniu gospodarki cyrkularnej w budownictwie, ponieważ ogranicza

interoperacyjność technologii oraz utrudnia wymianę danych pomiędzy uczestnikami procesu inwestycyjnego.

Istotne ograniczenia wynikają również z obowiązujących regulacji prawnych oraz struktury rynku budowlanego. W wielu krajach systemy prawne nie są jeszcze dostosowane do modeli cyrkularnych, co utrudnia m.in. ponowne wykorzystanie materiałów budowlanych, certyfikację komponentów wtórnych czy ich wprowadzanie na rynek. Dodatkowo, istniejące przepisy często preferują tradycyjne, liniowe modele inwestycyjne, co ogranicza innowacyjność i wdrażanie nowych rozwiązań. Brak spójności regulacyjnej pomiędzy poziomem krajowym i unijnym stanowi istotną barierę w rozwoju rynku materiałów cyrkularnych.

Ostatnią istotną barierą są problemy związane z jakością materiałów wtórnych. W sektorze budownictwa jednym z głównych wyzwań jest zapewnienie odpowiednich parametrów technicznych materiałów pochodzących z recyklingu, które często charakteryzują się zmienną jakością oraz ograniczoną certyfikacją. W rezultacie ich zastosowanie w konstrukcjach nośnych lub wymagających wysokiej trwałości jest często ograniczone. Badania wskazują, że brak zaufania do jakości materiałów wtórnych stanowi jedną z kluczowych barier rynkowych w rozwoju GOZ (Geissdoerfer et al., 2018). Dodatkowo, niedostatecznie rozwinięte systemy kontroli jakości i standaryzacji materiałów recyklingowych ograniczają ich konkurencyjność względem surowców pierwotnych. Zestawienie najważniejszych barier wdrażania gospodarki o obiegu zamkniętym w sektorze budownictwa wraz z odpowiadającymi im strategiami przeciwdziałania przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Bariery wdrażania gospodarki o obiegu zamkniętym w budownictwie oraz strategie ich ograniczania

Kategoria bariery	Charakterystyka bariery	Strategie przeciwdziałania
Bariery ekonomiczne (koszty inwestycyjne)	Wysokie koszty początkowe wdrażania technologii wspierających GOZ, takich jak BIM, prefabrykacja czy systemy zarządzania cyklem życia budynku. Dodatkowo występuje niepewność dotycząca zwrotu z inwestycji w rozwiązania cyrkularne	Wdrożenie mechanizmów wsparcia finansowego (dotacje, ulgi podatkowe), rozwój instrumentów green finance oraz uwzględnianie całkowitego kosztu cyklu życia (LCC/TCO) w procesach decyzyjnych inwestorów.
Bariery standaryzacyjne	Brak jednolitych norm i standardów dotyczących projektowania cyrkularnego, w tym projektowania pod demontaż, paszportów materiałowych oraz integracji danych BIM	Opracowanie i wdrożenie zharmonizowanych norm europejskich i międzynarodowych (ISO), rozwój standardów BIM 7D oraz ujednolicenie metodologii material passports.

Bariery regulacyjne i rynkowe	Niedostosowanie przepisów prawa budowlanego do modeli GOZ, w tym ograniczenia w zakresie ponownego użycia materiałów oraz certyfikacji komponentów wtórnych	Harmonizacja regulacji krajowych z polityką UE, uproszczenie procedur certyfikacyjnych oraz wprowadzenie zachęt regulacyjnych dla materiałów wtórnych.
Bariery jakości materiałów wtórnych	Zmienność właściwości fizyczno-mechanicznych materiałów pochodzących z recyklingu oraz ograniczone zaufanie rynku do ich jakości	Rozwój zaawansowanych technologii sortowania i przetwarzania, wdrożenie systemów certyfikacji oraz standaryzacji jakości materiałów wtórnych.
Bariery cyfryzacji i wdrożeniowe	Niski poziom implementacji narzędzi cyfrowych (np. BIM) w szczególności w sektorze MŚP, co ogranicza możliwość zarządzania cyklem życia budynków	Rozwój programów digitalizacji sektora, integracja BIM z zamówieniami publicznymi oraz szkolenia kompetencyjne dla branży budowlanej.
Bariery świadomościowe i organizacyjne	Ograniczona wiedza uczestników procesu inwestycyjnego dotycząca korzyści środowiskowych i ekonomicznych GOZ	Edukacja branżowa, włączenie GOZ do programów kształcenia oraz rozwój certyfikacji zawodowych w zakresie budownictwa cyrkularnego.

Źródło: Opracowanie własne.

Bariery wdrożeniowe gospodarki o obiegu zamkniętym w budownictwie mają charakter wielowymiarowy i obejmują zarówno aspekty ekonomiczne, technologiczne, jak i regulacyjne. Ich przezwyciężenie wymaga kompleksowego podejścia obejmującego rozwój standardów, wsparcie finansowe, modernizację prawa oraz zwiększenie zaufania do jakości materiałów wtórnych.

5. Korzyści środowiskowe i ekonomiczne wynikające z wdrażania GOZ w budownictwie

Wdrażanie zasad gospodarki o obiegu zamkniętym w sektorze budownictwa przynosi szereg istotnych korzyści środowiskowych i ekonomicznych, które wynikają przede wszystkim z bardziej efektywnego wykorzystania zasobów, ograniczenia emisji oraz wydłużenia cyklu życia obiektów budowlanych. Literatura przedmiotu wskazuje, że sektor budownictwa, odpowiadający za znaczną część globalnej emisji CO₂ oraz zużycia surowców, posiada największy potencjał redukcji wpływu środowiskowego poprzez implementację rozwiązań cyrkularnych (European Commission, 2020; Bello et al., 2026).

Jedną z kluczowych korzyści środowiskowych jest redukcja emisji dwutlenku węgla w całym cyklu życia budynków. Zastosowanie podejścia GOZ, w tym wykorzystanie materiałów wtórnych, prefabrykacji oraz optymalizacji projektowej z użyciem narzędzi takich jak LCA, pozwala znacząco ograniczyć emisje związane zarówno z fazą produkcji materiałów, jak i eksploatacji budynków. Badania wskazują, że implementacja strategii cyrkularnych może prowadzić do redukcji emisji CO₂ nawet o kilkadziesiąt procent w porównaniu do tradycyjnych

modeli budowlanych (Fnais et al., 2022). W szczególności istotne znaczenie ma ograniczenie wykorzystania materiałów wysokoemisyjnych, takich jak cement i stal.

Kolejnym istotnym efektem jest oszczędność surowców naturalnych. Model gospodarki o obiegu zamkniętym zakłada maksymalizację wykorzystania materiałów już istniejących w obiegu gospodarczym, co ogranicza konieczność eksploatacji zasobów pierwotnych. W praktyce oznacza to wzrost znaczenia recyklingu materiałów budowlanych, ponownego użycia elementów konstrukcyjnych oraz projektowania budynków jako „banków materiałowych”. Według Ellen MacArthur Foundation (2019), wdrożenie zasad GOZ w sektorze budownictwa może znacząco zmniejszyć zapotrzebowanie na surowce pierwotne, jednocześnie zwiększając efektywność ich wykorzystania w całym cyklu życia.

Istotną korzyścią środowiskową i funkcjonalną jest również wydłużenie życia budynków poprzez stosowanie strategii takich jak projektowanie adaptacyjne, modułowość oraz projektowanie pod demontaż. Rozwiązania te umożliwiają łatwiejszą modernizację, przebudowę oraz ponowne wykorzystanie elementów konstrukcyjnych bez konieczności ich całkowitej wymiany. W efekcie budynki stają się bardziej elastyczne i odporne na zmieniające się potrzeby użytkowe, co zmniejsza presję na nowe inwestycje oraz ogranicza generowanie odpadów budowlanych (Bocken et al., 2016).

Oprócz korzyści środowiskowych istotne znaczenie mają również korzyści ekonomiczne wynikające z wdrażania GOZ. Należą do nich przede wszystkim obniżenie kosztów eksploatacyjnych

budynków, redukcja kosztów materiałowych oraz tworzenie nowych modeli biznesowych opartych na usługach zamiast sprzedaży produktów. Przykładem są modele „product-as-a-service”, w których materiały i komponenty budowlane pozostają własnością producenta i są wynajmowane lub serwisowane w całym cyklu życia. Takie podejście sprzyja optymalizacji wykorzystania zasobów oraz generuje nowe strumienie przychodów dla przedsiębiorstw (Sgambaro et al., 2024).

Wdrażanie zasad gospodarki o obiegu zamkniętym w budownictwie prowadzi do jednocześniej redukcji negatywnego wpływu środowiskowego oraz poprawy efektywności ekonomicznej sektora. Synergia tych efektów sprawia, że GOZ staje się jednym z kluczowych kierunków transformacji współczesnego budownictwa.

6. Ilościowe wskaźniki efektywności środowiskowej GOZ w budownictwie (KPI-based assessment)

Ocena skuteczności wdrażania gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) w budownictwie wymaga zastosowania ustandaryzowanych wskaźników ilościowych, które umożliwiają porównywalną analizę efektów środowiskowych w cyklu życia budynków. W podejściu zgodnym z metodologią Life Cycle Assessment (LCA) oraz wytycznymi Circular Economy Indicators (CEI) stosowanymi w literaturze (Rodrigo et al., 2024), najczęściej analizowane są cztery grupy KPI: emisje CO₂e, efektywność materiałowa, odpady budowlane oraz zużycie energii.

Analiza literatury oraz dostępnych badań LCA wskazuje, że implementacja strategii gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ), takich jak design for disassembly (DfD), reuse, prefabrykacja, BIM oraz material passports, prowadzi do istotnych i mierzalnych efektów środowiskowych. Według dostępnych badań redukcja emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia budynków (Whole Life Carbon) może wynosić średnio 20–40%, natomiast w przypadku adaptacji istniejących obiektów osiągać nawet 50–70% względem scenariusza budowy nowych obiektów (Fnais et al., 2022; World Green Building Council, 2023). Jednocześnie emisje wbudowane (embodied carbon) mogą stanowić około 40–50% całkowitego śladu węglowego budynku, co podkreśla znaczenie fazy projektowej w procesie ograniczania wpływu środowiskowego (European Commission, 2024).

W obszarze efektywności materiałowej literatura wskazuje, że zastosowanie podejścia cyrkularnego może prowadzić do redukcji zużycia surowców pierwotnych o 25–50%, przy jednoczesnym zwiększeniu udziału materiałów wtórnych do poziomu 30–90% w wybranych komponentach budowlanych (Kamali and Hewage, 2016; Meng et al., 2023). Dodatkowo systemy oparte na cyfrowych paszportach materiałowych umożliwiają odzysk i ponowne wykorzystanie komponentów na poziomie 60–80% w budynkach projektowanych modułowo (Gómez-Gil et al., 2024).

W zakresie gospodarki odpadami integracja BIM i prefabrykacji może ograniczać ilość odpadów budowlanych o 15–30%, natomiast zastosowanie selektywnej rozbiórki umożliwia odzysk 70–90% materiałów budowlanych, szczególnie betonu, stali i drewna (Xue et al., 2021; Sakthibala et al., 2025). W scenariuszach wysokiej cyrkularności poziom składowania odpadów może zostać ograniczony do mniej niż 10%.

Z kolei w obszarze efektywności energetycznej budynki projektowane zgodnie z zasadami GOZ i wysokiej efektywności energetycznej mogą osiągać redukcję zużycia energii operacyjnej na poziomie 50–80%, natomiast zastosowanie materiałów niskoemisyjnych, takich jak CLT, pozwala ograniczyć energię wbudowaną o 20–60% (Foster, 2020; Metwally, 2025). Badania wskazują również, że integracja narzędzi BIM i LCA może dodatkowo redukować całkowity ślad energetyczny budynków o 15–35% (Rodrigo et al., 2024).

Tabela 2. Kluczowe wskaźniki środowiskowe (KPI) GOZ w budownictwie

Kategoria KPI	Wskaźnik	Zakres efektu GOZ
Emisje CO ₂ e	Redukcja Whole Life Carbon	20–40% (nowe), 50–70% (adaptacja)
	Udział embodied carbon	40–50% całkowitych emisji
Materiały	Redukcja zużycia surowców pierwotnych	25–50%
	Udział materiałów wtórnych	30–90% (zastosowania cząstkowe)

	Odzysk komponentów (DfD + paszporty)	60–80%
Odpady	Redukcja odpadów budowlanych (BIM + prefabrykacja)	15–30%
	Odzysk materiałów (demolition selective)	70–90%
	Składowanie odpadów	<10%
Energia	Redukcja energii operacyjnej	50–80%
	Redukcja energii wbudowanej	20–60%
	Efekt BIM + LCA	15–35%

Źródło: Opracowanie własne

Zestawienie KPI wskazuje, że wdrożenie zasad GOZ w budownictwie prowadzi do jednoczesnej redukcji emisji, zużycia materiałów, odpadów oraz energii w zakresie od kilkunastu do kilkudziesięciu procent. Największy potencjał redukcyjny obserwuje się w obszarze energii operacyjnej (do 80%) oraz gospodarki materiałowej (do 90% odzysku w scenariuszach selektywnej rozbiórki). Wyniki te potwierdzają, że efektywność GOZ jest mierzalna i zależna od stopnia integracji narzędzi cyfrowych (BIM, LCA, materiał paszporty) oraz poziomu standaryzacji procesów projektowych i wykonawczych (Pomponi and Moncaster, 2017; Rodrigo et al., 2024).

7. Podsumowanie, wnioski i rekomendacje dla sektora budowlanego

Przeprowadzona analiza, obejmująca dwie komplementarne części — analizę jakościowo-koncepcyjną oraz analizę ilościową opartą na wskaźnikach KPI — wykazała, że wdrażanie zasad gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) w sektorze budownictwa stanowi jeden z kluczowych kierunków transformacji współczesnego modelu projektowania, realizacji oraz eksploatacji obiektów budowlanych. Integracja podejść projektowych, takich jak design for disassembly, adaptacyjność, modularność oraz projektowanie niskoodpadowe, wspierana przez technologie cyfrowe (BIM, paszporty materiałowe oraz LCA), istotnie zwiększa efektywność wykorzystania zasobów w całym cyklu życia budynku.

Analiza ilościowa potwierdza, że efekty wdrażania GOZ są mierzalne i znaczące środowiskowo. W zależności od zastosowanej strategii możliwe jest osiągnięcie redukcji emisji CO₂e na poziomie 20–70%, ograniczenia zużycia surowców pierwotnych o 25–50%, redukcji odpadów budowlanych o 15–30% oraz zmniejszenia zużycia energii operacyjnej o 50–80%. Wyniki te potwierdzają, że największy potencjał redukcji wpływu środowiskowego koncentruje się na etapie projektowania budynków, co podkreśla kluczową rolę BIM, LCA oraz paszportów materiałowych w procesie decyzyjnym.

Jednocześnie transformacja w kierunku GOZ ma charakter systemowy i napotyka istotne bariery ekonomiczne, regulacyjne, technologiczne oraz jakościowe. Obejmują one wysokie koszty wdrożeń, brak jednolitych standardów, niedostosowanie ram prawnych oraz ograniczenia związane z certyfikacją i jakością materiałów wtórnych. Bariery te ograniczają tempo skalowania rozwiązań cyrkularnych i wymagają skoordynowanych działań na poziomie polityk publicznych, sektora prywatnego oraz instytucji badawczo-rozwojowych.

W ujęciu syntetycznym wyniki analizy wskazują, że efekty GOZ są mierzalne, lecz silnie zależne od kontekstu technologicznego, organizacyjnego oraz poziomu cyfryzacji procesów budowlanych. Dodatkowo wdrożenia charakteryzują się zróżnicowaniem regionalnym, co ogranicza ich pełną skalowalność i wskazuje na potrzebę dalszych badań porównawczych, w szczególności w zakresie cross-country LCA oraz benchmarkingu inwestycji cyrkularnych.

Wnioski dla sektora budowlanego

1. Implementacja GOZ wymaga integracji podejścia projektowego, technologicznego i organizacyjnego w całym cyklu życia obiektu budowlanego.
2. Kluczową rolę odgrywają technologie cyfrowe, w szczególności BIM, LCA oraz systemy paszportów materiałowych, umożliwiające zarządzanie zasobami w ujęciu cyrkularnym.
3. Efekty środowiskowe GOZ są mierzalne, jednak ich wielkość zależy od kontekstu wdrożeniowego oraz poziomu cyfryzacji procesów.
4. Bariery wdrożeniowe mają charakter systemowy i obejmują aspekty ekonomiczne, regulacyjne, technologiczne oraz jakościowe.

5. GOZ w budownictwie stanowi nie tylko podejście środowiskowe, lecz także istotne źródło przewagi konkurencyjnej przedsiębiorstw.

Rekomendacje dla sektora budowlanego

- wzmocnienie ram regulacyjnych wspierających ponowne wykorzystanie materiałów oraz rozwój rynku surowców wtórnych,
- rozwój i standaryzacja narzędzi cyfrowych (BIM 7D, paszporty materiałowe, LCA) oraz ich integracja w procesach inwestycyjnych,
- wdrożenie instrumentów finansowych wspierających inwestycje GOZ, szczególnie w sektorze MŚP,
- zwiększenie kompetencji projektowych i wykonawczych w zakresie projektowania cyrkularnego poprzez edukację i certyfikację,
- rozwój technologii recyklingu materiałów budowlanych oraz systemów certyfikacji jakości materiałów wtórnych.

Podsumowując, gospodarka o obiegu zamkniętym stanowi kluczowy kierunek transformacji sektora budownictwa, integrując cele środowiskowe z efektywnością ekonomiczną oraz innowacyjnością technologiczną. Jej skuteczna implementacja wymaga dalszej harmonizacji działań regulacyjnych, technologicznych i rynkowych oraz pogłębienia analiz empirycznych dotyczących rzeczywistych efektów środowiskowych.

Literatura

- [1]. Adams, K. T., Osmani, M., Thorpe, T., & Thornback, J. (2017, February). Circular economy in construction: current awareness, challenges and enablers. In *Proceedings of the institution of civil engineers-waste and resource management* (Vol. 170, No. 1, pp. 15-24). Thomas Telford Ltd. <https://doi.org/10.1680/jwarm.16.00011>
- [2]. Bello, A. O., Isa, R. B., Oke, A. E., Arogundade, S., & Lewis, J. M. O. (2026). Circular economy implementation in the construction industry: an examination of the barriers in a developing country. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 44(1), 143-162. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-10-2023-0154>
- [3]. Bocken, N.M.P., de Pauw, I., Bakker, C. and van der Grinten, B. (2016) 'Product design and business model strategies for a circular economy', *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), pp. 308–320. <https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>
- [4]. Build Up (2023) Reducing emissions and waste in the EU construction sector through circular economy strategies. Available at: <https://build-up.ec.europa.eu> (Accessed: 10 April 2026).
- [5]. Ellen MacArthur Foundation (2019) Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change. Cowes: EMF. <https://www.solvay.com/sites/g/files/srpend616/files/2022-10/Completing%20the%20Picture%20-%20How%20the%20circular%20economy%20tackles%20climate%20change.pdf>
- [6]. European Commission (2020) A new Circular Economy Action Plan: For a cleaner and more competitive Europe. Brussels: European Commission.
- [7]. European Commission (2024) Construction and buildings – sustainability and circular economy. Available at: https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/sustainability/buildings-and-construction_en (Accessed: 10 April 2026).
- [8]. European Environment Agency (EEA) (2024) Buildings and construction. Available at: <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/buildings-and-construction> (Accessed: 10 April 2026).
- [9]. Eurostat (2023) Waste statistics – construction and demolition waste. Available at: <https://ec.europa.eu/eurostat> (Accessed: 10 April 2026).
- [10]. Interreg Europe (2023) Sustainable circular construction: Policy brief. Available at: <https://www.interregueurope.eu> (Accessed: 10 April 2026).
- [11]. Fernandes, J., & Ferrao, P. (2025). Bridging circular economy and embodied carbon: A quantitative assessment method for building refurbishment design. *Developments in the Built Environment*, 100801. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2025.100801>
- [12]. Fnais, A., Rezgui, Y., Petri, I., Beach, T., Yeung, J., Ghoroghi, A., & Kubicki, S. (2022). The application of life cycle assessment in buildings: challenges, and directions for future research. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 27(5), 627-654. <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02058-5>
- [13]. Foster, G. (2020). Circular economy strategies for adaptive reuse of cultural heritage buildings to reduce environmental impacts.

- Resources, Conservation and Recycling, 152, 104507.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104507>
- [14]. Gasparri, E., Arasteh, S., Kuru, A., Stracchi, P., & Brambilla, A. (2023). Circular economy in construction: A systematic review of knowledge gaps towards a novel research framework. *Frontiers in Built Environment*, 9, 1239757.
<https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1239757>
- [15]. Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy—A new sustainability paradigm?. *Journal of cleaner production*, 143, 757–768.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- [16]. Gómez-Gil, M. et al. (2024) ‘Unlocking the Potential of Material and Building Passports in the Transition to a Circular Economy in Buildings: A Critical Review’, *Lecture Notes in Civil Engineering*, 489. Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-57800-7_37
- [17]. Hernández, H. (2025). Circular Industrialized Construction: A perspective through design for manufacturing, assembly, and disassembly. *Buildings*, 15(13), 2174.
<https://doi.org/10.3390/buildings15132174>
- [18]. Jasek, W., Szafraniak, D., Głowacka, A., Zemski, Ł., & Bednarek, R. (2025). Gospodarka odpadami budowlanymi i rozbiórkowymi. *Instal*, (4), 46–50.
- [19]. KC, A., Senaratne, S., Perera, S., & Nanayakkara, S. (2025). Review of current digital technologies for material passports to enhance circularity towards net zero. *Built Environment Project and Asset Management*, 15(5), 1055–1072.
<https://doi.org/10.1108/BEPAM-03-2024-0085>
- [20]. Kamali, M. and Hewage, K. (2016) ‘Life cycle performance of modular buildings: A critical review’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, pp. 1171–1183.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.031>
- [21]. Kwiatkowski, J., & Komerska, A. (2025). Uwarunkowania prawne szacowania śladu węglowego budynków w cyklu życia. *Materiały Budowlane*.
- [22]. Meng, X., Das, S., & Meng, J. (2023). Integration of digital twin and circular economy in the construction industry. *Sustainability*, 15(17), 13186.
<https://doi.org/10.3390/su151713186>
- [23]. Metwally, W. M. (2025). Biomimicry and green architecture: Nature-inspired innovations for sustainable buildings. *Sustainability*, 17(16), 7223. <https://doi.org/10.3390/su17167223>
- [24]. Plis, A., & Prałat, K. (2023). Budownictwo modułowe jako odpowiedź na współczesne wyzwania. *Przegląd budowlany*, 94.
- [25]. Pomponi, F. and Moncaster, A. (2017) ‘Circular economy for the built environment: A research framework’, *Journal of Cleaner Production*, 143, pp. 710–718.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.055>
- [26]. Rodrigues Balbio de Lima, P., Rodrigues, C.S. and Post, J.M. (2023) ‘Integration of BIM and design for deconstruction to improve circular economy of buildings’, *Journal of Building Engineering*, 80, 108015.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.108015>
- [27]. Rodrigo, N., Omrany, H., Chang, R., & Zuo, J. (2024). Leveraging digital technologies for circular economy in construction industry: a way forward. *Smart and Sustainable Built Environment*, 13(1), 85–116.
<https://doi.org/10.1108/SASBE-05-2023-0111>
- [28]. Sakthibala, R. K., Vasanthi, P., Hariharasudhan, C., & Partheeban, P. (2025). A critical review on recycling and reuse of construction and demolition waste materials. *Cleaner Waste Systems*, 100375.
<https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100375>
- [29]. Sgambaro, L., Chiaroni, D. and Urbinati, A. (2024) The design and servitization of products according to the circular economy principles: An ecosystem perspective in the building industry. *Journal of Cleaner Production*, 454, 142322.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142322>
- [30]. Timm, J.F.G. et al. (2023) ‘Towards Sustainable Construction: A Systematic Review of Circular Economy Strategies and Ecodesign in the Built Environment’, *Buildings*, 13(8), 2059.
<https://doi.org/10.3390/buildings13082059>
- [31]. Tomczak, A., Benghi, C., van Berlo, L. and Hjelseth, E. (2024) ‘Requiring Circularity Data in BIM With Information Delivery Specification’, *Journal of Circular Economy*, 1(2). <https://doi.org/10.55845/REJY5239>
- [32]. UN Environment Programme (2023) *Building Materials and the Climate: Constructing a New Future*. Nairobi: UNEP.
- [33]. Witeczek, A. (2023). Nowoczesny budynek jako bank materiałów budowlanych. *Builder*, 27.
- [34]. World Green Building Council (2023) *Bringing embodied carbon upfront*. London: WorldGBC.
- [35]. Xue, K., Hossain, M. U., Liu, M., Ma, M., Zhang, Y., Hu, M., ... & Cao, G. (2021). BIM integrated LCA for promoting circular economy

towards sustainable construction: an analytical review. Sustainability, 13(3), 1310. <https://doi.org/10.3390/su13031310>

kształcenia budowlanego w Polsce. *Przegląd budowlany*, 94.

[36]. Zabielski, J., & Juszczak, A. (2023). Poziom wdrożenia technologii BIM w procesie

Streszczenie

Sektor budownictwa należy do najbardziej zasobo- i energochłonnych obszarów gospodarki, istotnie przyczyniając się do emisji gazów cieplarnianych oraz zużycia surowców naturalnych. W odpowiedzi na rosnące wyzwania klimatyczne i środowiskowe coraz większe znaczenie zyskuje koncepcja gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ), której celem jest maksymalizacja efektywności wykorzystania zasobów poprzez ich ponowne użycie, recykling oraz wydłużenie cyklu życia budynków.

Celem artykułu jest przegląd oraz systematyzacja aktualnych podejść projektowych i technologii wspierających implementację zasad GOZ w procesie projektowania budynków. W pracy dokonano analizy kluczowych strategii, obejmujących design for disassembly, projektowanie adaptacyjne, podejście „reuse/refurbishment first”, budownictwo modułowe oraz biomimicry i low-impact design. Szczególną uwagę poświęcono roli technologii cyfrowych, takich jak Building Information Modeling (BIM), cyfrowe paszporty materiałowe oraz narzędzia oceny cyklu życia (LCA), które umożliwiają integrację danych o budynku w całym jego cyklu życia oraz wspierają podejmowanie decyzji projektowych zgodnych z zasadami GOZ. Omówiono również główne bariery wdrożeniowe, obejmujące ograniczenia ekonomiczne, regulacyjne, standaryzacyjne oraz problemy związane z jakością materiałów wtórnych.

Wyniki analizy wskazują, że największy potencjał transformacji w kierunku GOZ występuje na etapie projektowania, co podkreśla kluczową rolę narzędzi cyfrowych i strategii cyrkularnych w kształtowaniu efektywności środowiskowej budynków. Jednocześnie wdrażanie zasad GOZ prowadzi do istotnych korzyści środowiskowych, w szczególności redukcji emisji CO₂ oraz zużycia surowców, a także korzyści ekonomicznych związanych z optymalizacją kosztów cyklu życia i rozwojem nowych modeli biznesowych. Artykuł potwierdza, że gospodarka o obiegu zamkniętym stanowi kluczowy kierunek transformacji sektora budownictwa w stronę zrównoważonego i niskoemisyjnego rozwoju.

Słowa kluczowe: gospodarka o obiegu zamkniętym, zrównoważone budownictwo, modelowanie informacji o budynku (bim), ocena cyklu życia (lca), projektowanie z myślą o demontażu

Abstract

The construction sector is one of the most resource- and energy-intensive areas of the economy, significantly contributing to greenhouse gas emissions and the consumption of natural resources. In response to increasing environmental and climate challenges, the concept of the circular economy (CE) has gained growing importance as a framework aimed at maximizing resource efficiency through reuse, recycling, and extension of building life cycles.

The aim of this article is to review and systematize current design approaches and technologies supporting the implementation of circular economy principles in building design processes. The study analyses key strategies, including design for disassembly, adaptive design, the “reuse/refurbishment first” approach, modular construction, as well as biomimicry and low-impact design. Particular attention is given to digital technologies such as Building Information Modelling (BIM), material passports, and Life Cycle Assessment (LCA) tools, which enable the integration of building-related information throughout the entire life cycle and support decision-making aligned with circular economy principles. The paper also discusses major implementation barriers, including economic, regulatory, standardization-related constraints, and issues related to the quality of secondary materials.

The findings indicate that the highest potential for circular transformation occurs at the design stage, highlighting the critical role of digital tools and circular strategies in enhancing environmental performance in the built environment. Moreover, the implementation of circular economy principles leads to significant environmental benefits, particularly in terms of CO₂ emission reduction and decreased raw material consumption, as well as economic benefits associated with life cycle cost optimization and the development of new business models. The study confirms that the circular economy represents a key pathway for transforming the construction sector towards sustainable and low-carbon development.

Keywords: circular economy, sustainable construction, building information modelling (bim), life cycle assessment (lca), design for disassembly

Spis Treści

dr Aleksander Iwaszczuk, dr Paweł Jastrzębski, mgr Jarosław Baran IDENTYFIKACJA CZYNNIKÓW WPLYWU NA WYBÓR POMPY CIEPŁA	2
dr Aleksander Iwaszczuk, mgr Jarosław Baran Uwarunkowania rozwoju globalnego rynku miedzi	10
mgr inż. arch. Justyna M. Kobylarczyk, dr inż. Natalia Generowicz-Caba, dr Agnieszka Nowaczek, prof. dr hab. Joanna Kulczycka BARIERY I UWARUNKOWANIA RAPORTOWANIA ESG W MŚP NA PRZYKŁADZIE SEKTORA WYDOBYWCZEGO.....	20
mgr inż. arch. Justyna M. Kobylarczyk IMPLEMENTACJA ZASAD GOZ W PROCESIE PROJEKTOWANIA BUDYNKÓW – PRZEGLĄD PODEJŚĆ I TECHNOLOGII.....	32

WYDAWCA: KRAKOWSKIE TOWARZYSTWO TECHNICZNE

30-563 Kraków, ul. Malborska 10/6

Redaguje: **KOMITET**

Redaktor Naczelny: dr **OLGA JANIKOWSKA**, IGSMiE PAN, Kraków, e-mail: olgajan@min-pan.krakow.pl

Z-ca Redaktora Naczelnego: prof. dr hab. **JOANNA KULCZYCKA**

Sekretarz: mgr inż. **NATALIA GENEROWICZ- CABA**, IGSMiE PAN, Kraków

Redaktor zeszytu nr 206:

prof. dr hab. **JOANNA KULCZYCKA**

Kolegium Redakcyjne:

dr inż. **JERZY BANAŚ**

mgr inż. **MIECZYSLAW MAJCHER**

dr inż. **WIESŁAWA STYKA**

Redakcja Naukowa:

prof. dr hab. inż. **AGNIESZKA GENEROWICZ**

dr hab. inż. **NATALIA IWASZCZUK**, prof. AGH

prof. dr hab. **JOANNA KULCZYCKA**

prof. **GENNADIY PIVNYAK**

prof. **ROMAN EMILIAN DYCHKOVSKIY**

prof. **NATALIIA IVANIVNA SHTEMENKO**

prof. dr hab. inż. **RYSZARD TADEUSIEWICZ**

Redaktor techniczny - skład i łamanie tekstu: mgr **MACIEJ MAŃKA**

Redakcja nie zwraca nadesłanych materiałów.

W publikowanych artykułach redakcja zastrzega sobie prawo dokonywania skrótów.

Redakcja nie odpowiada za treść ogłoszeń.

© Copyright by Krakowskie Towarzystwo Techniczne 2026

ISSN 1425-8390

NR INDEKSU 334006

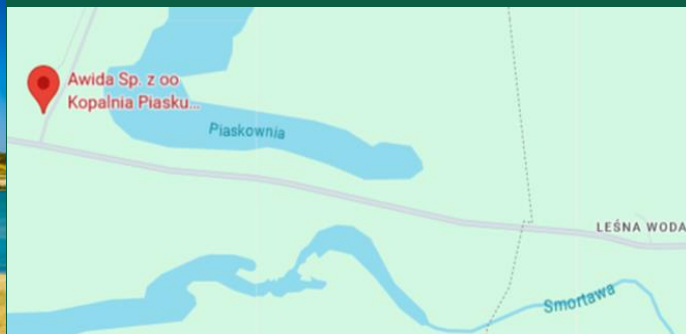


Instytut Gospodarki
Surowcami Mineralnymi
i Energią
Polskiej Akademii Nauk



SIL-PRO Bloczki Silikatowe Sp. z o.o.

Rekultywacja wodna i turystyczna jako element **Social Licence to Operate** (SLO)



Od eksploatacji surowca do miejsca rekreacji, edukacji i korzyści dla społeczności lokalnej.

SKALA DZIAŁALNOŚCI

ok. 400 tys. ton/rok
wydobycia piasku

Powierzchnia zakładu: ok. 20 ha.

ŁAŃCUCH WARTOŚCI

bloczek wapienno-piaskowy
Surowiec trafia do produkcji
elementów SIL-PRO Bloczki
Silikatowe Sp. z o.o.

KIERUNEK ROZWOJU

woda + turystyka
rekultywacja poeksploatacyjna
Wyroby mogą zostać
przekształcone w atrakcyjne i
bezpieczne zbiorniki rekreacyjne.

O projekcie

Kopalnia Piasku Awida prowadzi eksploatację złoża o istotnym znaczeniu dla lokalnego łańcucha dostaw materiałów budowlanych. Wydobywany piasek wykorzystywany jest w produkcji bloczków silikatowych SILKA - innowacyjnych elementów wapienno-piaskowych.

Kolejny etap rozwoju zakładu rekultywację wodną i turystyczną, czyli przekształcenie wyrobisk pogórnich w zbiorniki wodne oraz przestrzeń odpoczynku, edukacji i rekreacji.

Co może powstać?

- kąpieliska i miejsca wypoczynku
- ścieżki pieszo-rowerowe
- bezpieczne brzegi i uporządkowana przestrzeń
- teren o nowej wartości krajobrazowej i społecznej

SLO w praktyce

Social Licence to Operate oznacza społeczną akceptację działalności przedsiębiorstwa. W przypadku kopalni piasku buduje się ją nie tylko przez zgodność z przepisami, ale również przez dialog, transparentność i widoczne korzyści dla otoczenia.

ZAUFANIE - otwarta komunikacja z mieszkańcami i samorządem

ODPOWIEDZIALNOŚĆ - rekultywacja zaplanowana już jako element cyklu życia kopalni

WSPÓLNA WARTOŚĆ - nowe funkcje terenu po zakończeniu wydobywania

BEZPIECZEŃSTWO - kształtowanie brzegów, kontrola jakości wód i uporządkowana infrastruktura

AWIDA | VALORWASTE | SLO+ HUB | rekultywacja odpowiedzialna społecznie

