

Rola zbiorników mechanicznych w efektywnym zarządzaniu strugą urobku w podziemnych systemach transportowych

Data wpłynięcia do Redakcji: 02/2026
Data akceptacji przez Redakcję do publikacji: 02/2026

2026, volume 15, issue 1, pp. 1-11

Łukasz Cieślik
Lubelski Węgiel „Bogdanka” S.A., Poland

Piotr Kulinowski
AGH w Krakowie, Poland



Streszczenie: W artykule przeprowadzono analizę wybranych konstrukcji mechanicznych zbiorników retencyjnych w odniesieniu do trzech podstawowych funkcji: retencji urobku, separacji skały płonnej oraz stabilizacji wydajności strugi urobku. Następnie usystematyzowano rozwiązania techniczne zapewniające efektywną realizację tych funkcji oraz takie, których zastosowanie jest ograniczone. Przeprowadzona analiza wykazała, że zakres realizowanych funkcji zbiornika zależy przede wszystkim od jego konstrukcji, sposobu załadunku i wyładunku, możliwości realizacji funkcji bypass, a nie wyłącznie od jego ładowności.

Słowa kluczowe: mechaniczne zbiorniki retencyjne, retencja urobku, stabilizacja strugi urobku, separacja skały płonnej, transport podziemny

WPROWADZENIE

Zapewnienie ciągłości i stabilności procesu transportu urobku w podziemnej kopalni węgla kamiennego stanowi jeden z kluczowych warunków efektywnej eksploatacji górniczej. Systemy podziemnego transportu ciągłego pracują w warunkach nieregularnej nadawy urobku, wynikającej z cyklicznego charakteru pracy urządzeń urabiających w przodkach chodnikowych i ścianowych. Prowadzi to do wahań obciążenia urządzeń transportowych, okresowych przeładowań i przeciążeń lub niewykorzystania zdolności transportowych dostępnej infrastruktury, a w konsekwencji do obniżenia efektywności całego procesu odstawy. Zasadne jest więc rozważenie wprowadzania do ciągów transportowych poziomych zbiorników retencyjnych, których zadaniem jest kontrolowane przekazywanie urobku do systemu transportowego. Zbiorniki te lokalizowane są najczęściej w rejonach oddziałowych stacji załadowniczych, nadszybi i podszybi szybów wydobywczych, gdzie pełnią rolę elementów wyrównawczych w systemie odstawy (Antoniak, 1980).

W procesie zarządzania pracą systemów transportowych zbiorniki retencyjne mogą realizować trzy podstawowe funkcje technologiczne:

- retencję, czyli okresowe magazynowanie urobku,

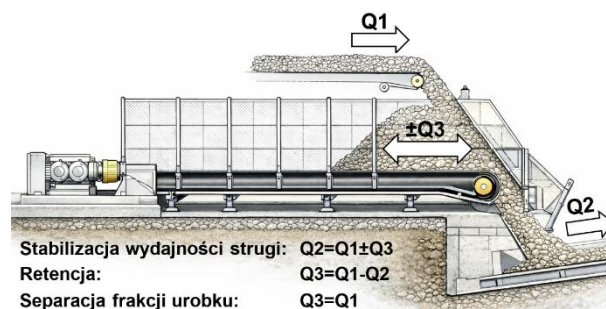
- separację, rozumianą jako możliwość oddzielenia różnych frakcji transportowanego materiału poprzez wykorzystanie funkcji retencji z możliwością jej ominięcia (bypass)
- stabilizację wydajności strugi urobku, uzyskaną poprzez krótkookresową retencję nadążną zbiornika mającą na celu zmniejszenie wartości maksymalnych wydajności i minimalizację okresu pracy urządzeń transportowych bez obciążenia nadawą.

Możliwość realizowania powyższych funkcji zależy przede wszystkim od rozwiązań konstrukcyjnych zbiornika, w szczególności od jego pojemności, sposobu jego załadunku i wyładunku, możliwości sterowania przepływem urobku oraz stopnia integracji z systemem transportowym. W literaturze technicznej zagadnienia budowy i funkcjonalności zbiorników opisywane są w ograniczonym zakresie, a wiele rozwiązań ma charakter prototypowy. Zróżnicowanie konstrukcji od prostych układów wykorzystujących przestrzeń wyrobiska dla retencji po zaawansowane, automatycznie sterowane zbiorniki mechaniczne utrudnia ocenę ich zdolności do realizacji określonych funkcji technologicznych (Antoniak, 1990).

Celem niniejszego artykułu jest ocena wybranych konstrukcji mechanicznych zbiorników retencyjnych w odniesieniu do możliwości realizacji określonych funkcji: retencji urobku, stabilizacji wydajności strugi oraz separacji skały płonnej, ze wskazaniem rozwiązań zapewniających ich efektywną realizację oraz identyfikacją ograniczeń wynikających z ich budowy i warunków eksploatacji.

FUNKCJE ZBIORNIKÓW RETENCYJNYCH W SYSTEMIE TRANSPORTOWYM

Mechaniczne zbiorniki retencyjne mogą realizować trzy podstawowe funkcje, których istotę zilustrowano na schemacie (rys. 1).



Rys. 1 Schemat funkcjonalny mechanicznego zbiornika retencyjnego

Na schemacie tym zaznaczono: wydajność przenośnikowego systemu podającego urobek do zbiornika – Q_1 [m^3/h], chwilową zdolność zbiornika retencyjnego do załadunku (chłonność zbiornika) – Q_3 [m^3/h] oraz wydajność systemu transportowego odbierającego urobek ze zbiornika lub wprost z systemu załadowczego – Q_2 [m^3/h].

Podstawową funkcją zbiorników retencyjnych jest możliwość czasowego gromadzenia urobku. Retencja w poziomych zbiornikach mechanicznych znajduje

szczególne zastosowanie podczas drażenia wyrobisk chodnikowych. Zbiorniki umożliwiają tam okresowe gromadzenie urobku przez okres kilku zmian ($Q_2 = 0$), a następnie jego cykliczne przekazywanie do układu transportowego odstawy. Rozwiązanie to ogranicza konieczność utrzymywania w ruchu całego systemu transportowego i umożliwia zachowanie ciągłości robót górniczych. Funkcja retencji realizowana przez zbiornik wymaga, poza standardowym czujnikiem stanu wypełnienia zbiornika, zastosowania wagi taśmowej na przenośniku podającym, którego wydajność – Q_1 jest sygnałem sterującym prędkością przemieszczania cięgna wewnątrz zbiornika.

Kolejną istotną funkcją zbiorników retencyjnych jest stabilizacja wydajności strugi urobku. Polega ona na wyrównywaniu wahań ilości nosiwa transportowanego przenośnikami przed skierowaniem go na kolejne odcinki systemu transportowego. Zbiornik przyjmuje nadwyżki urobku z przenośnika podającego – Q_3 , magazynuje je a następnie przekazuje w sposób zapewniający równomierne obciążenie przenośnika odbierającego – Q_2 . W rezultacie ograniczane jest ryzyko przeładowania układu odstawy zbiorczej i głównej oraz stabilizowana jest praca systemu transportowego. System automatyki funkcji stabilizacji wymaga zastosowania wag taśmowych monitorujących wydajność chwilową przenośników Q_1 i Q_2 oraz czujnika stanu wypełnienia zbiornika.

Istotnym obszarem zastosowania mechanicznych zbiorników retencyjnych jest również możliwość ich wykorzystania np. do separacji skały płonnej oddzielonej w procesie selektywnego urabiania przodka chodnikowego. Funkcja ta realizowana jest poprzez kierowanie kamiennego urobku wprost do zbiornika, co umożliwia jego czasowe magazynowanie ($Q_3 = Q_1$). Funkcja separacji urobku wymaga bardziej złożonego systemu automatyki, gdyż konieczne jest zainstalowanie urządzenia do oceny jakości urobku na przenośniku podającym. Funkcja separacji może istotnie ograniczyć udział skały płonnej w urobku i jej transport do zakładu przeróbczego na powierzchni, co przyczyni się do poprawy jakości urobku kierowanego do dalszych etapów przeróbki i w efekcie do wzrostu efektywności ekonomicznej procesu transportu.

SYSTEMATYKA ZBIORNIKÓW RETENCYJNYCH

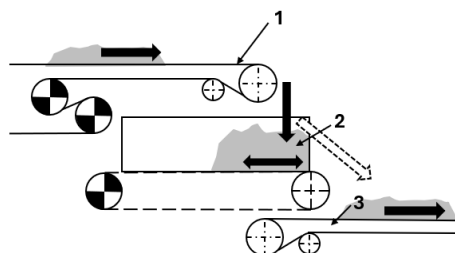
Mechaniczne zbiorniki retencyjne stosowane w podziemnych systemach transportu urobku można sklasyfikować według cech konstrukcyjnych oraz sposobu realizacji procesów załadunku i wyładunku. Przyjęty podział obejmuje rozwiązania najczęściej spotykane w praktyce eksploatacyjnej i odnosi się do trzech podstawowych grup, wynikających z budowy części magazynowej oraz zastosowanych elementów transportowych.

Pierwszą grupę stanowią zbiorniki ze skrzynią stałą (rys. 2 poz. 1), w których skrzynia pełni rolę nieruchomej przestrzeni magazynowej (rys. 3). W tego typu rozwiązaniach transport zgromadzonego materiału realizowany jest za pomocą ruchomego dna zbiornika lub przy wykorzystaniu elementów wyładowniczych. Zbiorniki ze skrzynią stałą można podzielić na dwa podstawowe typy.



Rys. 2 Uproszczony podział zbiorników mechanicznych

Źródło: Cieślík, 2025



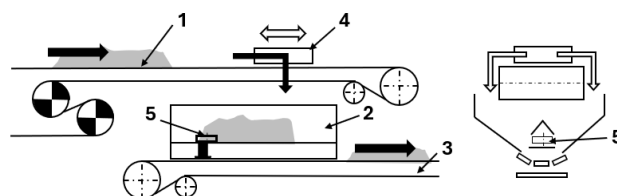
Rys. 3 Schemat mechanicznego zbiornika retencyjnego ze stałą skrzynią i dnem ruchomym w dwóch kierunkach:

1. przonośnik podający, 2. mechaniczny zbiornik retencyjny, 3. przonośnik odbierający

Źródło: Cieślík, 2025

Pierwszą grupę stanowią zbiorniki z dnem ruchomym, w których dno pełni funkcję elementu transportującego, umożliwiającego przemieszczanie zgromadzonego urobku. Drugą grupę tworzą zbiorniki z dnem stałym, w których opróżnianie zbiornika odbywa się z wykorzystaniem dodatkowych urządzeń wyładowczych.

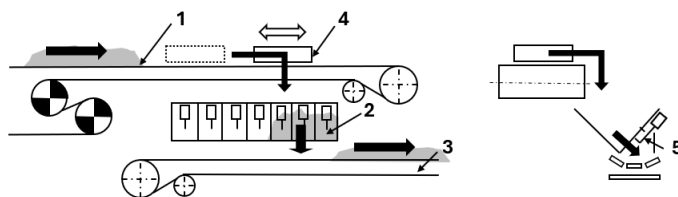
Do najczęściej spotykanych rozwiązań należą zbiorniki wyposażone w wygarniacz (rys. 4), zapewniający kontrolowane przemieszczanie urobku w kierunku przonośnika odbierającego oraz zbiorniki z wysypem bocznym (Rys. 5).



Rys. 4 Schemat mechanicznego zbiornika retencyjnego ze skrzynią i dnem stałym wyposażony w wygarniacz urobku

1. przonośnik podający, 2. zbiornik retencyjny, 3. przonośnik odbierający, 4. zgarniak pługowy, 5. wygarniacz

Źródło: Cieślík, 2025



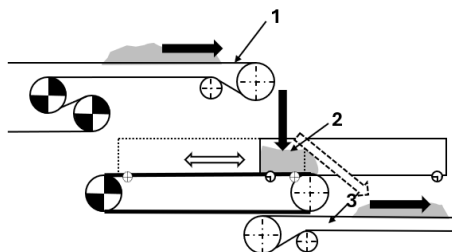
Rys. 5 Schemat mechanicznego zbiornika retencyjnego ze skrzynią i dnem stałym z wysypem bocznym:

1. przonośnik podający, 2. zbiornik retencyjny, 3. przonośnik odbierający, 4. zgarniak pługowy, 5. zasuwa z napędem hydraulicznym

Źródło: Cieślík, 2025

W zbiornikach ze skrzynią stałą powszechnie stosowany jest ruchomy punkt podawania urobku, pozwalający na jego równomierny załadunek.

Drugą grupę stanowią zbiorniki ze skrzynią ruchomą (Rys. 2 poz. 2), w których skrzynia przemieszcza się względem układu transportowego (Rys. 6). Ruch skrzyni powoduje, że urobek nie przesuwają się po ścianach, ale transportowany jest pomiędzy nimi. Wpływa to na ograniczenie oporów ruchu oraz zużycie elementów konstrukcyjnych.



Rys. 6 Schemat mechanicznego zbiornika retencyjnego ze skrzynią i dnem ruchomym
1. przonośnik podający, 2. mechaniczny zbiornik retencyjny, 3. przonośnik odbierający
Źródło: Cieślik, 2025

W zależności od zastosowanego rozwiązania konstrukcyjnego w dnie zbiornika stosowane są przonośniki taśmowe (Rys. 2 poz. 2.1), płytowe lub zgrzebłowe (Rys. 2 poz. 2.2). Układy te umożliwiają magazynowanie oraz transport urobku w dwóch kierunkach, wykorzystując stały punkt załadunku zbiornika.

Trzecią grupę mechanicznych zbiorników retencyjnych stanowią rozwiązania pozbawione klasycznej skrzyni ładunkowej (Rys. 2 poz. 3), w których funkcję bufora pełni bezpośrednio przestrzeń wyrobiska, a urobek jest usypywany na spąg. Charakteryzują się one prostą konstrukcją, jednak oferują ograniczone możliwości sterowania procesem magazynowania i wyładunku.

Przyjęta systematyka uwzględnia kluczowe cechy konstrukcyjne zbiorników, takie jak budowa skrzyni magazynowej, typ dna, sposób realizacji procesów załadunku i wyładunku oraz rodzaj zastosowanego przonośnika w dnie. Takie podejście umożliwia powiązanie rozwiązań konstrukcyjnych z ich możliwościami funkcjonalnymi.

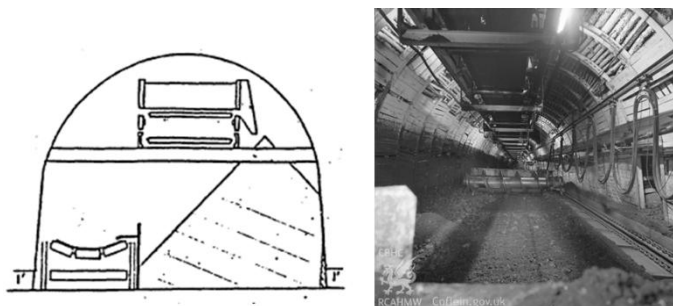
ANALIZA FUNKCJONALNA WYBRANYCH KONSTRUKCJI ZBIORNIKÓW MECHANICZNYCH

Funkcje zbiorników mechanicznych w systemie odstawy wynikają przede wszystkim z możliwości sterowania przepływem urobku oraz sposobu realizacji procesów załadunku i wyładunku. Zakres ich zastosowania nie jest determinowany wyłącznie ładownością, lecz przede wszystkim rozwiązaniami konstrukcyjnymi umożliwiającymi kontrolę przepływu urobku. Na podstawie analizy źródeł technicznych i patentowych dokonano oceny wybranych konstrukcji zbiorników retencyjnych pod kątem możliwości realizacji trzech podstawowych funkcji: retencji urobku, stabilizacji wydajności strugi oraz separacji skały płonnej.

Retencja urobku

Retencja stanowi podstawową funkcję zbiornika mechanicznego i polega na czasowym magazynowaniu urobku oraz jego późniejszym kontrolowanym przekazaniu na przonośnik odbierający. Funkcja ta może być realizowana przez większość

analizowanych rozwiązań konstrukcyjnych, niezależnie od typu skrzyni magazynowej czy zastosowanego urządzenia wyładowczego. Do rozwiązań umożliwiających realizację retencji zaliczyć można również konstrukcje pozbawione klasycznej skrzyni ładunkowej, w których urobek usypywany jest bezpośrednio na spągu wyrobiska (rys. 7).



Rys. 7 Zbiornik bez skrzyni ładunkowej wykorzystujący usypywanie urobku na spągu
Źródło: Hopkins, 1997, Royal Commission on the Ancient and Historical Monuments of Wales, 2026

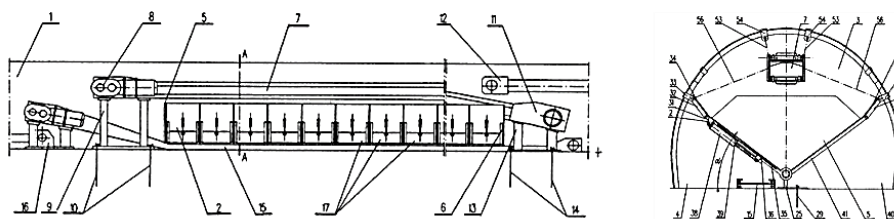
Rozwiązania te charakteryzują się znaczną pojemnością magazynową wynikającą z wykorzystania przestrzeni wyrobiska. Pomimo relatywnie dużej ładowności, proces akumulacji urobku nie zapewnia realizacji kontrolowanego cyklu załadunku i wyładunku, charakterystycznego dla zbiorników mechanicznych wyposażonych w wydzieloną skrzynię ładunkową. Ogranicza to możliwość precyzyjnego sterowania procesem opróżniania oraz integracji zbiornika z systemem regulacji wydajności strugi.

Stabilizacja wydajności strugi urobku

Stabilizacja wydajności strugi urobku polega na wyrównywaniu wahań wydajności nadawy poprzez czasowe magazynowanie nadwyżek oraz ich kontrolowane przekazywanie na przenośnik odbierający. Realizacja tej funkcji wymaga możliwości płynnej regulacji wydajności wyładunku, tak aby zapewnić możliwie równomierne obciążenie dalszych odcinków systemu transportowego. Warunek ten spełniają przede wszystkim zbiorniki wyposażone w dno ruchome lub w rozwiązania umożliwiające ciągłą regulację prędkości urządzenia wyładowczego. Konstrukcje te pozwalają na aktywne sterowanie przepływem urobku i dostosowanie wydajności wyładunku do możliwości odbioru urobku przez przenośnik taśmowy.

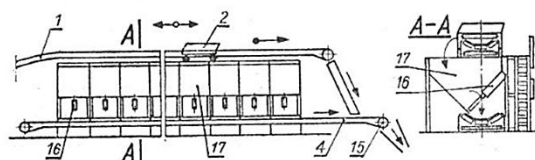
Nie wszystkie rozwiązania konstrukcyjne zapewniają jednak kontrolowaną stabilizację strugi. Do grupy tej należą zbiorniki z dnem stałym i wysypem bocznym, w których wyładunek realizowany jest za pomocą ruchomej, pochylej przegrody. Powoduje to nieregularny charakter opróżniania oraz brak możliwości płynnej regulacji strugi. W konsekwencji nie jest możliwe zapewnienie równomiernego obciążenia przenośnika odbierającego.

Podobne ograniczenia występują w rozwiązaniach takich jak zbiornik retencyjny urobku zgłoszony w Urzędzie Patentowym RP w 1996 roku (PL181956) (Kaczmarczyk et al. 1998), konstrukcja opisywana przez Koreckiego (Korecki, 1985) (rys. 8, 9) oraz podziemne bunkry węglowe (rys. 10), w których transport urobku realizowany jest z wykorzystaniem przenośników zgrzebłowych lub taśmowych.



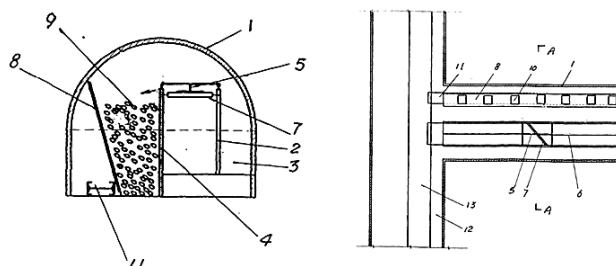
Rys. 8 Zbiornik retencyjny urobku

Źródło: Kaczmarczyk et al. 1998



Rys. 9 Zasobnik samowyladowczy

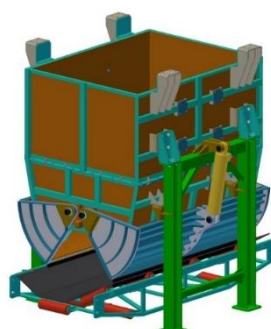
Źródło: Korecki, 1985



Rys. 10 Podziemny bunkier węglowy

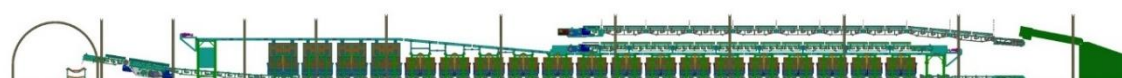
Źródło: Guangjian, 2002

Rozwój konstrukcji zbiorników ze stałą skrzynią znalazł odzwierciedlenie w przodkowym magazynie urobku opisanym w zgłoszeniu P.406874 (Hajduk Group, 2014) oraz w systemie HYDRA (Kiljan et al., 2020, Gąsiorek et al., 2014, Kamiński et al., 2014) (rys. 11, 12).



Rys. 11 Zbiornik magazynujący

Źródło: Hajduk Group, 2014



Rys. 12 Przodkowy magazyn urobku HYDRA

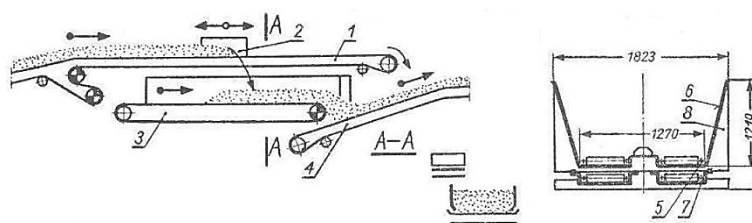
Źródło: Hajduk Group, 2014

Rozwiązania te umożliwiają pracę w trybach załadunku, wyładunku oraz bypass, jednak ich działanie ma charakter sekwencyjny. Opróżnianie odbywa się skokowo poprzez uchylne dna, co nie pozwala na regulację wydajności wyładunku. W konsekwencji konstrukcje te realizują funkcję retencji, lecz nie zapewniają stabilizacji strugi w rozumieniu płynnej regulacji obciążenia przenośnika odbierającego.

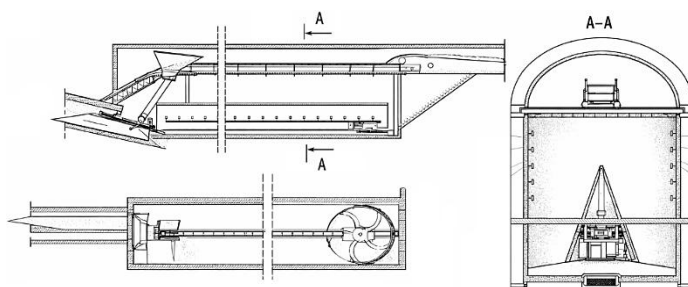
Separacja skały płonnej

Odrębną funkcją zbiorników mechanicznych jest możliwość czasowego magazynowania odseparowanej skały płonnej. Realizacja tej funkcji wymaga możliwości rozdzielenia strugi urobku oraz zastosowania rozwiązania umożliwiającego ominięcie zbiornika (bypass).

Funkcji tej nie realizują zbiorniki ze stałą skrzynią ładunkową i dnem stałym wyposażonym w wygarniacz (rys. 13) oraz konstrukcje, w których transport w dnie realizowany jest przy wykorzystaniu przenośnika współpracującego z pługiem na przenośniku podającym (rys. 14).



Rys. 13 Przenośnik zgrzeblowy zasobnikowy o jednym kierunku ruchu łańcucha
Źródło: Antoniak, 1980



Rys. 14 Poziomy bunkier węglowy dla kopalń węgla kamiennego
Źródło: Zhiwang, 2004

Mimo że rozwiązania te umożliwiają kontrolowany wyładunek urobku na przenośnik odbierający, nie zapewniają rozdzielenia strugi ani alternatywnego prowadzenia przepływu urobku. Ogranicza to możliwość ich wykorzystania w systemach wymagających selektywnego magazynowania skały płonnej.

Funkcjonalność wybranych konstrukcji mechanicznych zbiorników retencyjnych

W tabeli 1 przedstawiono zestawienie funkcji realizowanych przez wybrane typy zbiorników mechanicznych stosowanych w układach transportu urobku.

Tabela 1 Zestawienie funkcji wybranych typów zbiorników mechanicznych

	Zbiornik ze skrzynią stałą		Zbiornik ze skrzynią ruchomą	Usypywanie urobku na spągu
Funkcja	Dno stałe	Dno ruchome	Dno ruchome	
Retencja urobku	+	+	+	+
Stabilizacja strugi urobku	+/-*	+	+	-
Separacja skały płonnej	-	+	+	-

* w przypadku zastosowania wysypu bocznego

Uwzględniono zdolność do retencji, stabilizacji strugi oraz separacji skały płonnej.

Przeprowadzona analiza wskazuje, że zakres wykorzystania zbiorników mechanicznych zależy przede wszystkim od sposobu realizacji procesu wyładunku oraz możliwości aktywnego sterowania przepływem urobku.

Najbardziej uniwersalnymi rozwiązaniami, z punktu widzenia możliwości realizacji wszystkich trzech analizowanych funkcji, są zbiorniki z dnem ruchomym. Konstrukcje ze stałą skrzynią i dnem stałym zapewniają retencję oraz kontrolowany wyładunek, jednak nie zawsze umożliwiają stabilizację strugi i z reguły nie pozwalają na realizację funkcji separacji. Z punktu widzenia pracy systemu transportowego kluczowe znaczenie ma możliwość ciągłej regulacji wydajności wyładunku, która decyduje o zdolności zbiornika do pełnienia funkcji elementu stabilizującego w podziemnym układzie odstawy.

PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono analizę wybranych konstrukcji mechanicznych zbiorników retencyjnych stosowanych w podziemnych systemach transportu urobku w kopalniach węgla kamiennego. Punktem wyjścia było założenie, że mechaniczne zbiorniki retencyjne mogą stanowić istotne ogniwo regulujące przepływ strugi urobku w złożonych układach transportowych. Zdefiniowano trzy podstawowe funkcje zbiorników retencyjnych: retencję urobku, stabilizację wydajności strugi transportowanego urobku oraz separację skały płonnej. Zaproponowana systematyka zbiorników, oparta na budowie skrzyni magazynowej, konstrukcji dna oraz sposobie realizacji załadunku i wyładunku, umożliwiła powiązanie cech konstrukcyjnych urządzeń z ich możliwościami funkcjonalnymi.

Przeprowadzona analiza wykazała, że rzeczywisty zakres realizowanych funkcji technologicznych zależy przede wszystkim od rozwiązań konstrukcyjnych zbiornika, w szczególności od sposobu jego załadunku i wyładunku, możliwości regulacji wydajności oraz stopnia integracji z systemem transportowym, a nie wyłącznie od jego ładowności. Wykazano, że największą uniwersalnością zastosowań charakteryzują się zbiorniki wyposażone w element transportujący w dnie lub rozwiązania z ruchomą skrzynią, umożliwiające płynne dozowanie urobku na przenośnik odbierający. Konstrukcje pozbawione możliwości regulacji

wyładunku wykazują natomiast ograniczoną zdolność do realizacji funkcji stabilizacji strugi urobku.

LITERATURA

- Antoniak, J. (1980). *Maszyny górnicze. Cz. 3: Transport kopalniany*. Wydawnictwo Śląsk.
- Antoniak, J. (1990). *Urządzenia i systemy transportu podziemnego w kopalniach (wyd. 2)*. Wydawnictwo Śląsk.
- Cieślak, Ł. (2025). *Metoda efektywnego zarządzania procesem transportu urobku w podziemnej kopalni węgla kamiennego [Rozprawa doktorska, Akademia Górniczo-Hutnicza]*.
- Gąsiorek, L., et al. (2014). *Magazyn urobku (Patent nr PL406874A1)*.
- Guangjian, Z. (2002). *Underground gallery bunker (Wzór użytkowy nr CN2567342Y)*.
- Hajduk Group. (2014, czerwiec). www.hajduk-group.pl. <https://www.hajduk-group.pl>
- Hopkins, A. (1997). *Development of the Huwood moving bed bunker*. Gateshead.
- Kamiński, W., Orzeł, P., & Hajduk, P. (2014). *Przodkowy magazyn urobku – selekcja i gromadzenie urobku z robót przygotowawczych*. *Inżynieria Górnicza*, 3, pp. 13-17.
- Kaczmarczyk, P., Bednaręka, K., Lasicz, M., Narbutt, A., Semeniuk, A., & Szeler, J. (1998). *Zbiornik retencyjny urobku (Patent nr PL181956B1)*.
- Kiljan, P., Kiljan, A., & Kalinowski, K. (2020). *Possibilities of application of spoil container in coal mine*. *Topical Issues of Rational Use of Natural Resources 2019*, 1, pp. 67-71. <https://doi.org/10.1201/9781003014577-9>
- Korecki, Z. (1985). *Maszyny i urządzenia górnicze. Cz. 2 (pp. 209-213)*. Wydawnictwo Śląsk.
- Royal Commission on the Ancient and Historical Monuments of Wales. (2026, styczeń). *Coflein*. <https://coflein.gov.uk/en/>
- Zhiwang, L. (2004). *Horizontal type bunker for coal mines (nr CN202038612U)*.

The role of mechanical storage bins in the efficient management of the run-of-mine material stream

Abstract: This paper presents an analysis of selected designs of mechanical storage bins in relation to three primary functions: run-of-mine material retention, waste rock separation, and stabilization of material stream capacity. The study also systematizes technical solutions that ensure effective implementation of these functions, as well as those with limited applicability. The analysis has shown that the range of functions performed by a storage bin depends primarily on its design, loading and unloading methods, and the possibility of implementing a bypass function, rather than solely on its storage capacity.

Keywords: mechanical storage bins, run-of-mine material retention, material stream stabilization, waste rock separation, underground transport

Łukasz Cieślik

ORCID ID: 0009-0003-1385-1293

Lubelski Węgiel „Bogdanka” S.A., Poland

e-mail: lcieslik@lw.com.pl

Piotr Kulinowski

ORCID ID: 0000-0002-7524-3651

AGH University of Krakow

Faculty of Mechanical Engineering and Robotics

Department of Machinery Engineering and Transport

A. Mickiewicza Av. 30, 30-059 Krakow, Poland

e-mail: piotr.kulinowski@agh.edu.pl