

# Obudowa skrzyżowania ściana-chodnik a możliwość zwiększenia efektywności procesu wydobycia węgla

dr inż. Jacek Korski  
FAMUR S.A.

## Streszczenie:

Często pomijanym aspektem efektywności wydobycia węgla systemem ścianowym jest stopień wykorzystania dostępnego czasu pracy kompleksu ścianowego, którego miernikiem jest czas pracy maszyny urabiającej. Jednym z powodów postojów kombajnu są niezbędne operacje technologiczne na końcach ściany na styku z chodnikami przyścianowymi. Problemy operacyjne i technologiczne związane z obudową chodników i obudową skrzyżowań oraz operacjami technologicznymi na końcach ściany są źródłem poważnych strat czasu. W artykule przedstawiono propozycję zmiany podejścia do mechanizacji skrzyżowania ściana-chodnik.

Słowa kluczowe: systemy ścianowe, efektywność wydobycia, skrzyżowanie ściana-chodnik

Keywords: longwall mining, coal extraction effectivity, face end operations in gateroads

## Abstract:

Availability of longwall system, measured by time on mining machine operation is often neglected aspect. Indispensable technical operations at the end of longwall panels at place of longwall contact with near-longwall roadways are often reason the shearer breakdown. Operational and technical problems associated with supporting the roadways and face-end are a source of significant losses of shearer operational time. Suggestion of changing the approach to mechanization of face-end supporting process is presented.

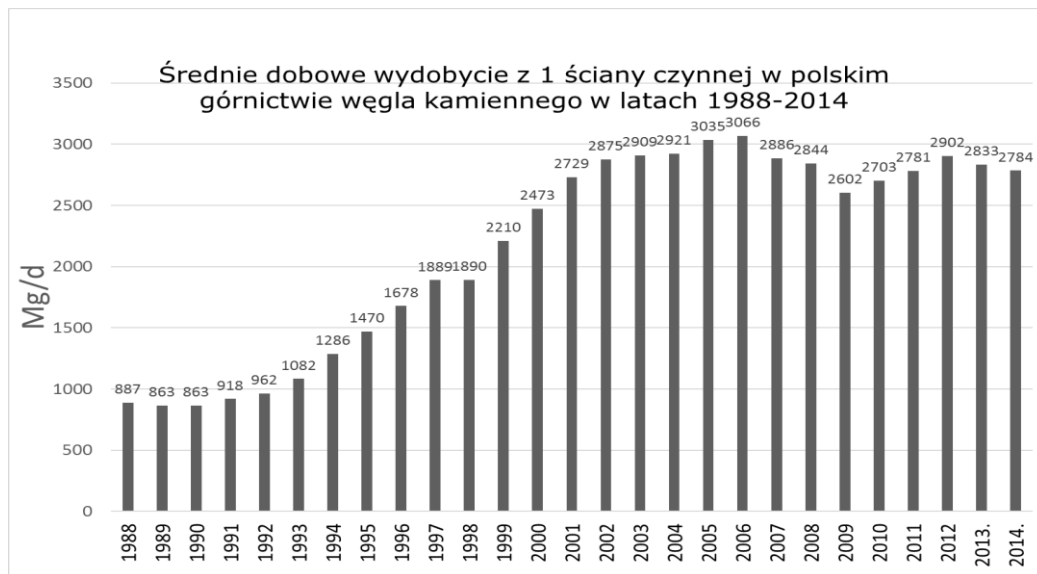
## 1. Wprowadzenie

Ścianowy system wydobycia węgla to systemy, które pozwalają na uzyskanie najwyższego wydobycia dobowego z jednego przodka [8]. W polskim górnictwie węglowym występuje swoista monokultura technologiczna w zakresie realizacji procesu wybierkowego – węgiel wydobywa się z w pełni zmechanizowanych (stosując terminologię oceny stopnia zmechanizowania – kompleksowo zmechanizowanych) Znane są w światowym górnictwie kompleksowo zmechanizowane przodki ścianowe wydobywające ponad 50000 Mg/d, a jako przyzwoity standard średniego poziomu wydobycia przyjmuje się 10000-12000 Mg. Tymczasem, po okresie intensywnej restrukturyzacji technicznej od 1989 roku polskie górnictwo węgla kamiennego od początku XXI wieku oscyluje wokół średniodobowego wydobycia z jednej ściany na poziomie około 3000 Mg/d (rys.1).

Szczególnie niepokojące jest przy tym występowanie kilku zaledwie ścian uzyskujących średnie dobowe wydobycie przekraczające wspomniany standard, ale jednocześnie znacząco zawiżające średnią.

Jako podstawową przyczynę niskich wyników operacyjnych wskazuje się rosnącą głębokość eksploatacji pokładów węgla w polskich kopalniach węgla kamiennego i rosnący w związku z tym poziom zagrożeń górniczych, w tym skojarzonych. Można jednak zauważyć, że głębokość eksploatacji w Polsce rośnie systematycznie, a przez wiele lat wzrastało także średnie dobowe wydobycie ze ściany. Wykorzystując informacje dostępne we wprowadzonym przez FAMUR S.A. systemie diagnostyki i monitoringu E-kopalnia można wskazać przyczyny i ewentualne kierunki doskonalenia procesów wydobywczych w ścianach węglowych w warunkach polskich. Z chwilą wprowadzenia w polskim górnictwie węglowym

urabiania kombajnami bębnowymi (pod koniec lat 50-tych XX wieku) podjęto szereg prac, których celem była optymalizacja wykorzystania tych maszyn [6,10,11].



Rys. 1. Przeciętne średniodobowe wydobywanie z 1 ściany czynnej w polskich kopalniach węgla kamiennego w latach 1988-2014 [opracowanie własne na podstawie [3]]

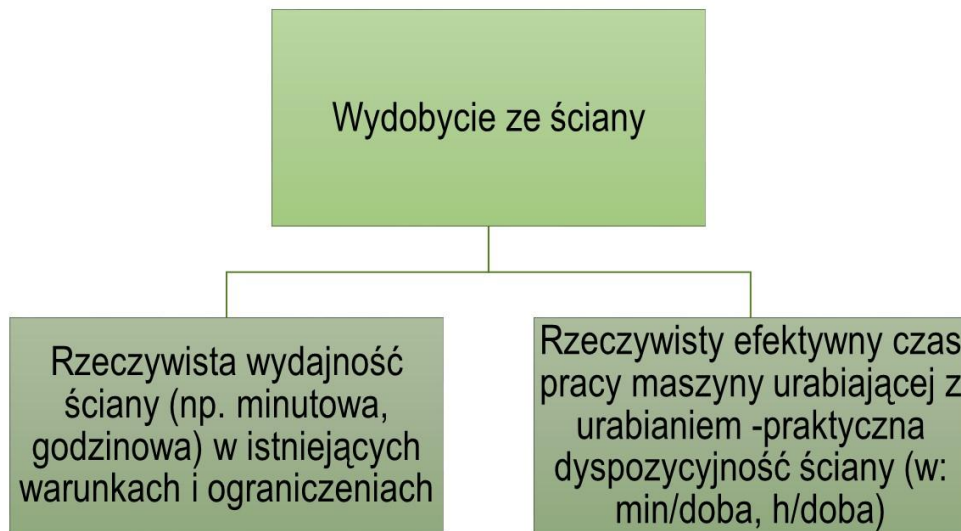
## 2. Czynniki wpływające na wydajność ściany

Bardzo często zdolność wydobywczą ściany wiąże się z potencjałem technicznym zainstalowanych maszyn i urządzeń – czyli ich techniczną wydajnością/produktywnością. Dlatego bardzo często stawia się je jako podstawowe wymaganie (warunek techniczny) w procedurze doboru i pozyskiwania tego wyposażenia. Pomija się przy tym fakt, iż wydajność czy produktywność jest wielkością rozliczaną w jednostce czasu (godzina, doba, rok) i, obok potencjału technicznego czynnikiem wpływającym na wydajność (w tym przypadku wydobywanie dobowe ściany) jest stopień wykorzystania dostępnego czasu (np. doby).

Kluczowym elementem kompleksowo zmechanizowanej ściany wydobywczej jest maszyna wykonująca podstawowe operacje czyli urabianie i ładowanie urobku (współcześnie kombajn frezujący lub strug węglowy). Pozostałe urządzenia są elementami, których wydajność może ograniczać wydajność maszyny urabiającej, a postój powoduje także postój kombajnu lub struga.

Rzeczywista wydajność ściany jest zazwyczaj niższa od potencjału technicznego ze względu na występujące ograniczenia jak:

- zaburzenia w zaleganiu pokładu,
- występujące zagrożenia (występujące zagrożenie metanowe jest często przyczyną zmniejszania prędkości urabiania kombajnem) [1].



Rys. 2. Czynniki wpływające na dobową wydajność kompleksowo zmechanizowanej ściany węglowej [opracowanie własne]

Czynnikiem ograniczającym potencjał techniczny ściany może być także stan techniczny urządzeń powodujący spowalnianie prędkości urabiania.

Rzeczywiste wykorzystanie dostępnego czasu (w okresie rozliczeniowym np. doba) jest więc iloczynem pokazanej na rysunku 2 rzeczywistej wydajności ściany (średnia wynikowa wydajność kompleksu) i rzeczywistego czasu urabiania maszyny urabiającej. Udział tego czasu w czasie dostępnym pokazano na rysunku 3 wraz z podstawowymi przyczynami powodującymi ograniczenie tego udziału.



Rys. 3. Czas wykorzystany a czas dostępny kompleksowo zmechanizowanej ściany wydobywczej [4]

Wykorzystany czas efektywny ściany zmechanizowanej w polskich warunkach stanowi relatywnie niewielki udział w dostępnym czasie pracy (doba, miesiąc) i rzadko przekracza 20%. Jako podstawową przyczynę takiego stanu rzeczy przyjmuje się niską dyspozycyjność kompleksów ścianowych, co nie znajduje w pełni potwierdzenia np. z danych rejestrowanych w systemie diagnostyki i monitoringu E-kopalnia opracowanego w FAMUR S.A. Duży udział w czasie dyspozycyjnym ma czas nieplanowanych przestojów (obejmujący nie tylko awarie całego tzw. ciągu technologicznego, ale także przestoje z przyczyn organizacyjnych i np. zadziałanie systemów bezpieczeństwa – metanometrii automatycznej). Często zdarza się, że ściany nie wykorzystują dostępnego czasu ze względu na brak załogi (jako błąd należy też wskazać prowadzenie ścian w warunkach zagrożenia metanowego lub tapaniami z interwałem czasowym w postaci zmian nieobłożonych). Nadrzędnym postulatem musi być dążenie do eliminowania czasu traconego lub jego istotnego ograniczenia. Istnieją także ograniczenia w efektywnym wykorzystaniu, pomniejszonego o czas tracony, czasu dostępnego. W systemach kompleksowo zmechanizowanych konieczne są okresowe przeglądy, czy prace konserwacyjne urządzeń nawet sprawnych technicznie. Postulatem dla producentów wyposażenia jest zmniejszenie tego czasu bez ograniczenia dyspozycyjności maszyn. Proces wydobywczy w zmechanizowanej kompleksowo ścianie obejmuje także czas, kiedy występują niezbędne przerwy operacyjne w pracy systemu technicznego ściany związane m.in.:

- koniecznością wymiany elementów zużywających się (np. noże kombajnowe),
- roboty strzałowe w ścianie,
- postoje związane z przesuwaniem napędów ścianowego przenośnika zgrzeblowego i podścianowego.

Ostatnia grupa postojów, niezbędna ze względu na technologię wybierania jest, zwłaszcza w większości polskich kopalń węgla kamiennego, źródłem istotnej rezerwy wzrostu efektywności procesu wybierkowego w ścianie.

### **3. Niezbędne operacje technologiczne na skrzyżowaniu ściana-chodnik jako potencjał poprawy efektywności**

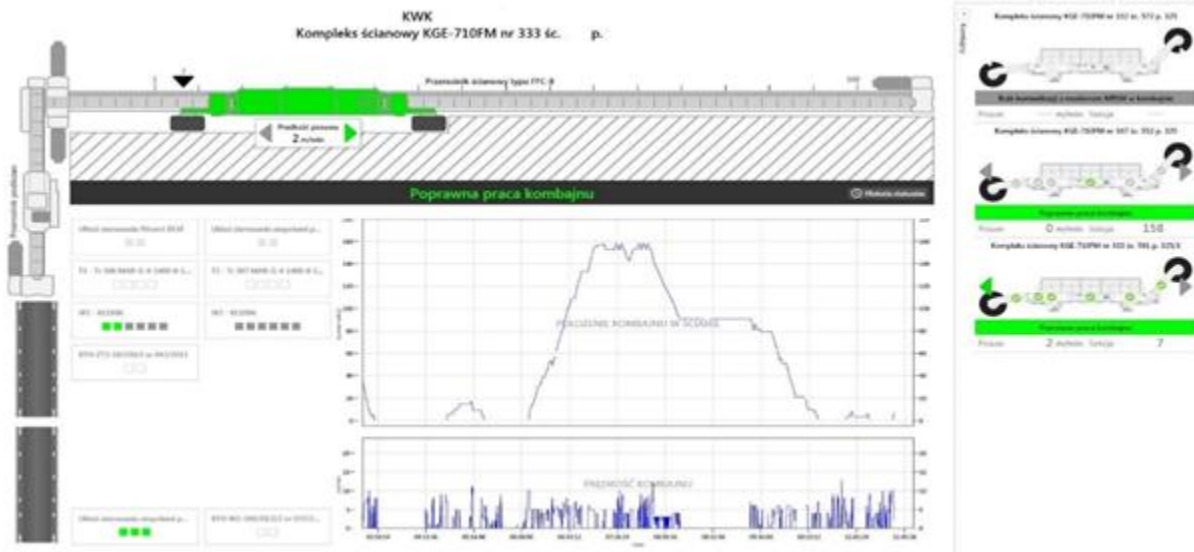
Na rysunku 4 pokazano przykładowy, rzeczywisty interfejs operacyjny (zrzut z ekranu) systemu E-kopalnia.

Przyjmując założenie, że maksymalna prędkość urabiania kombajnu wynikała z warunków lokalnych, należy zwrócić uwagę na bardzo duży udział czasu, kiedy kombajn „czekał” w sąsiedztwie chodników przyścianowych. Ten czas był znacząco dłuższy od czasu pracy kombajnu ścianowego z posuwem czyli efektywnej pracy.

W wysoko-wydajnych kompleksowo zmechanizowanych ścianach wielu krajów (m.in. Australia, USA, Chiny, Rosja) w chodnikach przyścianowych, gdzie stosuje się kotwienie stropu sekcje obudowy zmechanizowanej zamykają długość ściany między zewnętrznymi ociosami chodników przyścianowych i w istocie niemal nie występują przerwy operacyjne związane z przesuwaniem napędów (następuje zmniejszenie prędkości i zmiana kierunku ruchu kombajnu). Powoduje to znaczącą poprawę wykorzystania dostępnego czasu pracy.

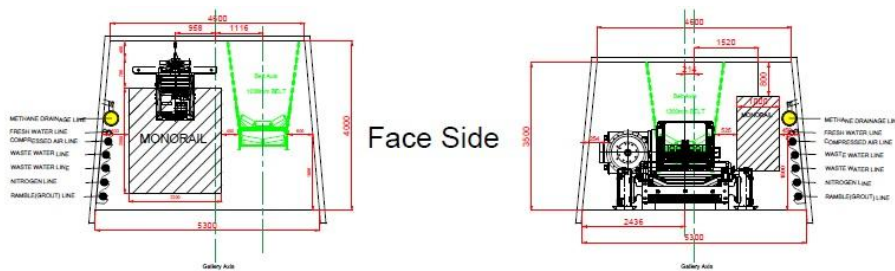
Można tu także wskazać przykład stosunkowo krótkiej ściany (142 m) w południowoafrykańskiej kopalni Matla, gdzie jedyną operacją technologiczną powodującą

zatrzymanie urabiania było uzupełnianie lub wymiana noży kombajnowych. Rozwiązania techniczne i organizacyjne zapewniały uzyskiwanie wydobywania od 425 do nawet 700 tys. Mg/mies.



Rys. 4. Przykładowy raport w systemie E-kopalnia oferowanego przez FAMUR S.A (zrzut z ekranu) – w środku pokazano przebieg pracy kombajnu, na dole - rozkład prędkości w czasie na zielono poprawną pracę kombajnu

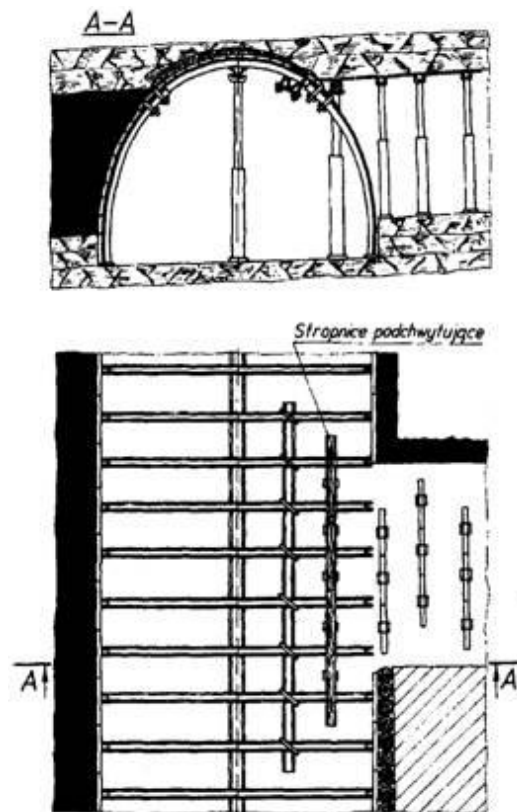
W górnictwie węglowym wielu krajów chodniki przyścianowe prowadzone są w obudowie podporowej (łukowej podatnej, innej metalowej prostokątnej lub trapezowej) (rys. 5).



Rys. 5. Przekroje chodników przyścianowych w metalowej trapezowej obudowie podporowej w jednej z kopalń tureckich [zapytanie ofertowe klienta]

Zastosowanie obudowy podporowej powoduje konieczność wykonywania dodatkowych czynności i operacji związanych z eliminacją konfliktów pomiędzy przemieszczającymi się urządzeniami ściany a obudową chodnika. Jest to źródłem wymuszonych postojów kombajnu. W polskich warunkach, lecz także w warunkach zagłębia donieckiego czynności związane z obudową ściana - chodnik są źródłem zagrożeń technicznych i niestety, wielu wypadków [9].

W warunkach polskich kopalń nadal stosuje się konwencjonalne obudowy skrzyżowania ściana-chodnik i przychodnikowej części ściany (rys. 6).



Rys. 6. Konwencjonalne rozwiązanie skrzyżowania ściana - chodnik [7]

W związku z poważnymi problemami związanymi z utrzymaniem skrzyżowań ściana-chodnik jako rozwiązanie wskazywano wprowadzenie zmechanizowanych obudów chodnikowych (rys. 7).



Rys. 7. Zmechanizowana obudowa chodnikowa produkcji FAMUR S.A. [14]

Zastosowanie kosztownych zmechanizowanych obudów podporowych na skrzyżowaniu ściana chodnik w niewielkim stopniu wpłynęło na poprawę efektywności i bezpieczeństwa.

Według zastosowanych rozwiązań zmechanizowana obudowa chodnikowa umożliwia mechanizację prac związanych z:

- podtrzymywaniem stropu wyrobiska w obudowie chodnikowej z wystarczającą podpornością roboczą,
- przesuwaniem napędu (np. krzyżowego) krzyżowych przenośników wraz z postępem ściany,
- samoczynnym “przebudowywaniem” zestawu zmechanizowanej obudowy chodnikowej.

Wadą wszystkich zmechanizowanych obudów chodnikowych jest duża masa, duża długość i niska podatność transportowa.

W przypadku zastosowania podporowej obudowy chodnikowej w chodniku przyścianowym nie rozwiązano problemów związanych z demontażem stojaków łukowej obudowy podporowej w bezpośredniej bliskości skrzyżowania ściana-chodnik. Konieczność likwidacji chodnikowego w niewielkiej odległości za linią ściany ze względu na np. zagrożenie metanowe i podejmowane często próby odzyskania już zdeformowanej obudowy chodnikowej są także często przyczyną postojów. Czynność likwidacji obudowy chodnikowej w bardzo trudnym technologicznie miejscu jest także poważnym ryzykiem i przyczyną licznych wypadków.

#### **4. Techniczne i organizacyjne możliwości usprawnienia operacji i czynności na skrzyżowaniu ściana-chodnik**

Zastosowanie obudowy podporowej w chodnikach przyścianowych (np. stalowa obudowa łukowa czy inne obudowy stalowe) utrudnia wykonywanie operacji związanych z przemieszczaniem napędów przenośnika ścianowego, nawet w przypadku zastosowania zmechanizowanej obudowy chodnikowej. Stosowana w wielu krajach samodzielna obudowa kotwiowa chodników pozwala na pełną mechanizację na skrzyżowaniu ściana-chodnik. Nie wszędzie jednak występują warunki stosowania wyłącznie kotwienia stropu w chodnikach przyścianowych. Problemem jest także zabezpieczenie stropu pomiędzy sekcjami zmechanizowanej obudowy ścianowej i chodnikiem. Występowanie np. stropnic obudowy chodnikowej w świetle okna ściany uniemożliwia zastosowanie bocznych osłon wychyłnych stosowanych powszechnie w obudowach zmechanizowanych w Rosji (także produkcji polskiej). Od wielu lat podejmowane są próby wprowadzenia specjalnych obudów przejścia ściana-chodnik, ale rozwiązania te nie rozpowszechniają się.

W tureckich podziemnych kopalniach węgla kamiennego od kilku lat, dla uniknięcia wyciągania stojaków metalowej obudowy chodnikowej (łukowej podatnej lub trapezowej sztywnej) przyjęto zasadę, że likwiduje się obudowę chodnikową kilka lub kilkanaście metrów przed frontem ściany zastępując ją stropnicami stalowo-członowymi podpartymi indywidualnymi stojakami hydraulicznymi (rys. 8).



Rys. 8. Przebudowa (wymiana obudowy chodnikowej na indywidualną stalowo-członową przed frontem ściany w tureckiej kopalni IMBAT [13])

Pozornie zbędna i pracochłonna operacja wymiany obudowy przed frontem ściany jest jednak bardzo efektywna ponieważ:

- zastosowanie indywidualnej obudowy stalowo-członowej upraszcza zabezpieczenie skrzyżowania w rejonie skrzyżowania ściana-chodnik (rys. 9),
- rabowanie obudowy stalowo-członowej za frontem ściany, ze względów technologicznych jest łatwiejsze i bezpieczniejsze niż demontaż typowej obudowy chodnikowej i wymuszanie zawału na lub za linią zawału ściany.



Rys. 9. Zabudowa skrzyżowania ściana-chodnik w jednej z kopalń tureckich [13]



Stosowane w tureckich kopalniach rozwiązanie ma jeszcze jedną zaletę – pozwala korygować wady wykonania chodnika przyścianowego przed frontem czynnej ściany. Bardzo częstą przyczyną postoju maszyny urabiającej w związku z operacjami na końcach ściany są wady jakościowe wykonania chodnika przyścianowego. Można tylko wskazać, że nie stosuje się podejścia procesowego [2,5], w którym drażnienie wyrobisk przygotowawczych (chodnikowych) jest realizowane nie jako cel sam w sobie, ale na potrzeby wewnętrznego klienta realizującego później proces wybierkowy. W rozwiązaniu stosowanym w kopalniach tureckich, choć nie zmechanizowanym, rozwiązano i wyeliminowano lub ograniczono szereg problemów związanych z bezpieczeństwem i funkcjonalnością na skrzyżowaniu ściana-chodnik.

## 5. Inne spojrzenie na mechanizację skrzyżowania ściana-chodnik

Analizując w FAMUR S.A. zagadnienie mechanizacji operacji na skrzyżowaniu ściana-chodnik stwierdzono, że realizowane są w tych miejscach następujące funkcje:

- zabezpieczenie (podparcie) stropu w przestrzeni skrzyżowania,
- przemieszczanie znajdujących w strefie skrzyżowania maszyn i urządzeń ściany,
- zapewnienie swobodnego przepływu powietrza,
- zapewnienie swobodnego i bezpiecznego przejścia załogi,
- likwidacja lub zabezpieczenie chodnika przyścianowego za linią zawału ściany,
- ewentualne odzyskiwanie obudowy chodnikowej.

W czasie ruchu ściany może dojść do konieczności jednoczesnego wykonywania kilku czynności lub operacji w tym samym czasie i miejscu, co stanowi istotny konflikt i jest przyczyną postojów i ogranicza efektywny czas pracy ściany. Oznacza to bowiem konieczność szeregowego, kolejnego wykonywania poszczególnych czynności i wydłużenia sumarycznego czasu ich trwania i często oczekiwania przez kombajn.

W ramach prac nad rozwiązaniem zmechanizowanej obudowy skrzyżowania ściana-chodnik podścianowy w dwu-przenośnikowej ścianie podbierkowej (LTCC) z tylnym przenośnikiem kątowym (*roller curver*) analizowano także istniejące, podobne rozwiązania. Do chwili obecnej nie było rozwiązania obudowy chodnikowej dla dwu-przenośnikowych zmechanizowanych kompleksów podbierkowych z tylnym przenośnikiem kątowym. Istniejące rozwiązania obudów chodnikowych dla tego typu ścian w bardziej klasycznym układzie z przenośnikiem podścianowym cechowały się bardzo dużą złożonością, znaczną długością (konieczność zabezpieczenia dwóch sąsiadujących przesypów z przenośników ścianowych na wspólny przenośnik podścianowy (rys. 10). Bardzo duża była także masa takiego zestawu (np. rozwiązanie ZMJ – 85 Mg, rozwiązanie CAT – 92 Mg).

Efektywne zastosowanie takich obudów wymaga bardzo dobrych nośnych spągów ze względu na znaczną długość pożądaną prostoliniowości chodnika.



Rys. 10. Przykład zmechanizowanej obudowy chodnikowej chodnika podścianowego dla dwu-przeñośnikowej ściany podbierkowej [12]

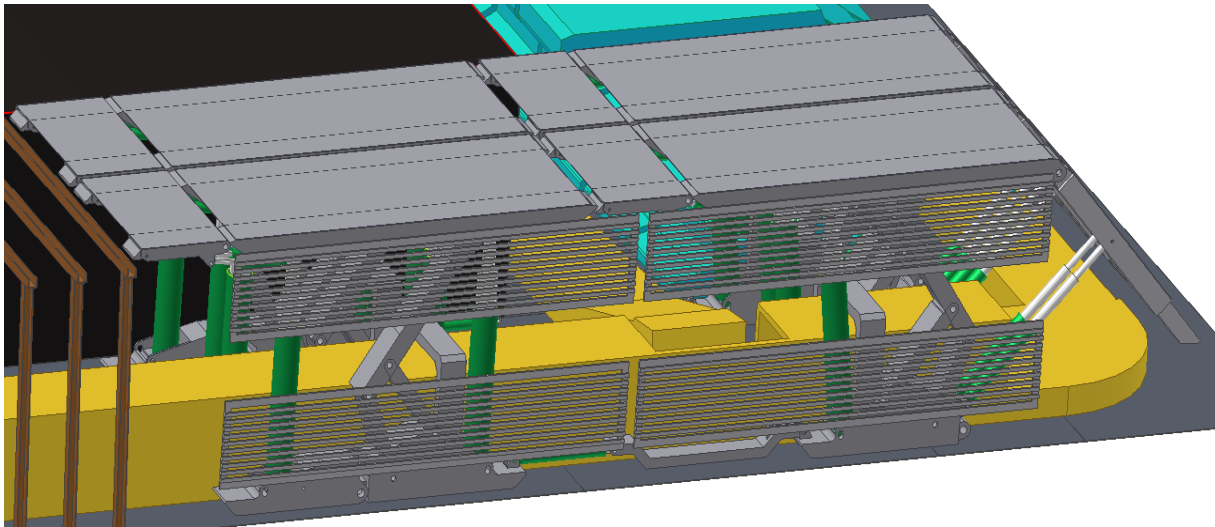
W pracach nad obudową chodnikową dla ściany podbierkowej z dwoma przeñośnikami ścianowymi, w tym tylnym przeñośnikiem kątowym w FAMUR S.A. postawiono jeszcze dodatkowe wymagania:

- musi istnieć możliwość wypuszczania węgla ze stropu także na szerokości chodnika podścianowego (dla zmniejszenia ilości rozkruszonego węgla pozostawionego w zrobach, który może ulec samozapaleniu),
- obudowa musi umożliwiać zabezpieczenie stropu i ociosów chodnika na odcinku gdzie uprzednio zdemontowano istniejącą obudowę chodnika,
- obudowa musi funkcjonalnie zabezpieczać strop i ociosy chodnika w miejscu i w czasie demontażu obudowy chodnikowej,
- należy rozważyć wprowadzenie urządzenia mechanizującego demontaż istniejącej obudowy w pewnej odległości przed frontem ściany.

W związku z zapytaniem klienta, który w swojej praktyce stosował obudowę chodnika w postaci stalowych odrzwi o przekroju trapezowy pierwszą koncepcję zmechanizowanej obudowy chodnikowej opracowano zgodnie z wymaganiami tego klienta. Dodatkowo klient postawił wymagania transportowe wynikające z dostępnych gabarytów klatki i dopuszczalnej masy transportowanych elementów (20 Mg).

W wyniku analiz opracowano system obudowy skrzyżowania spełniający wymagania klienta składający się z 4 niezależnych, choć powiązanych funkcjonalnie sekcji (rys. 11).

Modułowa obudowa, oprócz spełnienia wymagań transportowych, zmniejsza sztywność konstrukcji i pozwala łatwiej dostosowywać się do odchyleń w prostolinijności chodnika podścianowego. Konstrukcja modułów pozwala ich wykorzystanie także jako obudowy chodnika nadścianowego (wentylacyjnego).

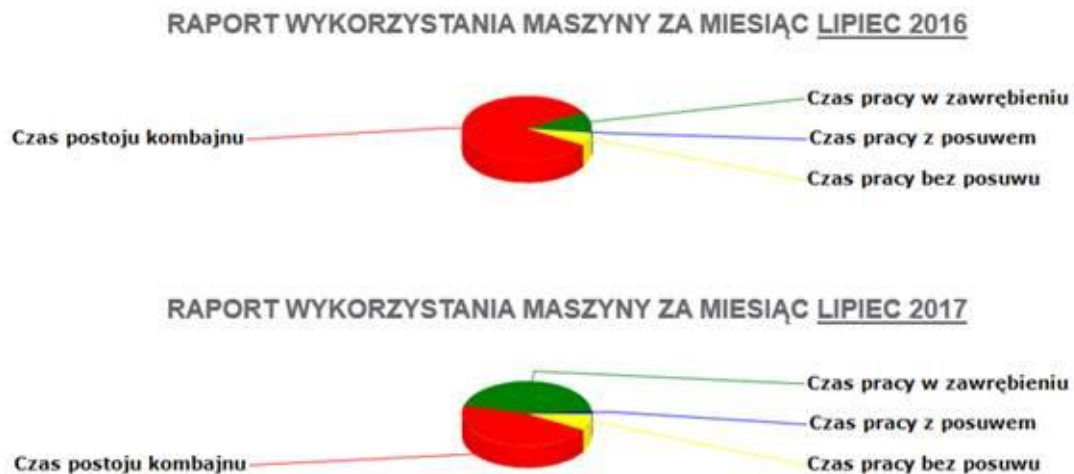


Rys. 11. Koncepcja zmechanizowanej obudowy dla dwu-przeñośnikowej ściany podbierkowej z tylnym przeñośnikiem kątowym [opracowanie własne]

## 6. Podsumowanie

Analizując operacje na skrzyżowaniu ściana-chodnik w polskich kopalniach węgla kamiennego należy także zwrócić uwagę na duży udział pracy ręcznej w tych operacjach przeczących w istocie pojęciu ściany kompleksowo zmechanizowanej czy kompleksowej mechanizacji.

Na rysunku 12 pokazano przykład zwiększenia udziału czasu efektywnej pracy tego samego kombajnu ścianowego w jednej z polskich kopalń po wprowadzeniu zmian o charakterze organizacyjnym i drobnych w obszarze technologii górniczych.



Rys.12. Poprawa efektywność wykorzystania czasu dostępnego kombajnu ścianowego [opracowanie własne w oparciu o dane archiwalne z systemu E-kopalnia]

W przykładzie, istotnemu skróceniu uległy przerwy w urabianiu wynikające z oczekiwania na zakończenie operacji na końcach ściany. Przedstawione na rysunku dane dotyczą tej samej maszyny, bez remontu pomiędzy analizowanymi miesiącami i w tej samej

ścianie. Udział efektywnego czasu pracy maszyny urabiającej – kombajnu (praca z posuwem i co najmniej 30% w stosunku do wartości nominalnej obciążeniem silników organów urabiających) w okresie rozliczeniowym wzrósł z 9,5% do 31% czas efektywnej pracy kombajnu. Potrojeniu uległo wydobywanie ze ściany, przy tej samej obsadzie. Pokazuje to olbrzymi potencjał wzrostu produktywności przez eliminowanie strat czasu.

Ograniczenie czasu trwania niezbędnych operacji związanych z przemieszczaniem napędów przenośnika ścianowego wymaga działań związanych z rozwiązaniami technicznymi, technologiami górniczymi i rozwiązaniami organizacyjnymi. Najmniej kosztownymi są rozwiązania o charakterze organizacyjnym (np. rozsuniecie w przestrzeni lub/i w czasie operacji krzyżujących się – wykluczających się wzajemnie w tym samym miejscu i czasie).

## Literatura

- [1] Korski J., Korski W.: Bezpieczeństwo i efektywność ścian w warunkach zagrożenia metanowego. *Wiadomości Górnicze* 2016 nr 5 (R. LXVII)
- [2] Korski J., Korski W.: Underground mine as a system of processes. „Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering” 2015 no 02 (electronic edition)
- [3] Korski J., Tobór-Osadnik K., Wyganowska M.: Reasons of problems of the polish hard coal industry in connection with restructuring in period 1988-2014. *Resources Policy* 48, 2016
- [4] Korski J.: Czas jako zasób a efektywność wydobywania. *Przegląd Górniczy* 2016 nr 8
- [5] Korski J.: Czy podejście procesowe może podnieść efektywność polskiego górnictwa węgla kamiennego?. *Materiały konferencyjne XXVI Szkoły Eksploatacji Podziemnej*. Kraków 22-24.02.2017
- [6] Matuszewski J., Masarczyk J.: *Metody usprawniania organizacji produkcji w ścianach węglowych*. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1976
- [7] Ostrihansky R.: *Podziemna eksploatacja złóż węgla kamiennego*. „Śląsk” Spółka z o.o. Katowice 1996. ISBN 8371640161
- [8] Piechota St.: *Technika podziemnej eksploatacji złóż i likwidacji kopalń*. AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2008. ISBN 9788374641319
- [9] Prusek S.: *Stateczność wyrobisk ścianowych podczas eksploatacji pokładów węgla kamiennego z zawałem skał stropowych*. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2016. ISBN 978836112698
- [10] Przybyła H., Chmiela A.: *Organizacja i ekonomika w projektowaniu wybierania węgla*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007. ISBN 9788373354203
- [11] Zając E.: *Organizacja produkcji w kopalni węgla kamiennego*. Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1994. ISBN 8385623205
- [12] Strona internetowa: [www.woim-int.com](http://www.woim-int.com)
- [13] Dokumentacja fotograficzna autora
- [14] Dokumentacje oraz materiały FAMUR S.A.