



KOMTECH 2016



Instytut Techniki Górniczej

INNOWACYJNE TECHNIKI I TECHNOLOGIE DLA GÓRNICTWA

BEZPIECZEŃSTWO - EFEKTYWNOŚĆ - NIEZAWODNOŚĆ

Gliwice 2016



KOMTECH 2016



INSTYTUT TECHNIKI GÓRNICZEJ

Praca zbiorowa

**INNOWACYJNE TECHNIKI I TECHNOLOGIE
DLA GÓRNICTWA**

BEZPIECZEŃSTWO – EFEKTYWNOŚĆ – NIEZAWODNOŚĆ

Monografia

Redakcja naukowa:

Prof. dr hab. inż. Adam Klich
Dr inż. Antoni Kozieł

Recenzenci:

Dr inż. Marek Dudek
Prof. dr hab. inż. Adam Klich
Dr inż. Edward Pieczora
Dr inż. Jarosław Tokarczyk

Redaktor techniczny:

Mgr Anna Okulińska

Wydawca: Instytut Techniki Górniczej KOMAG
ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice, tel.: 32 2374100, 2374512

ISBN 978-83-60708-97-2
Copyright by Instytut Techniki Górniczej KOMAG

WPROWADZENIE

Aktualna sytuacja górnictwa węglowego w Polsce będąca wynikiem drastycznego spadku jego cen oraz polityka energetyczno-klimatyczna, w tym dekarbonizacja, to główne czynniki pewnego kryzysu tej branży. Słaba kondycja finansowa spółek węglowych bardzo negatywnie wpływa na tzw. zaplecze górnicze. Brak inwestycji w górnictwie stawia wiele przedsiębiorstw oraz jednostek naukowych w trudnej sytuacji. Restrukturyzacja polskiego górnictwa jest konieczna, zwłaszcza, że nic nie wskazuje na to, że w niedalekiej przyszłości wyeliminujemy węgiel jako źródło surowca w przemyśle energetycznym i ciepłowniczym.

Powyższe uwarunkowania utrudniają, ale nie likwidują prowadzonej działalności innowacyjnej. Świadczą o tym prezentowane w niniejszej monografii wyniki prac naukowych, badawczych i wdrożeniowych. Są jednocześnie dowodem na ciągle aktywną postawę wielu środowisk w zakresie innowacyjnych technik i technologii dla górnictwa. Należy podkreślić, że realizowane prace są odpowiedzią na potrzeby współczesnego górnictwa, czego przykładem jest tematyka geotermalnego ciepła kopalń, czy uciążliwości zapachowych.

W pięciu rozdziałach monografii zawarto również przykłady nowych idei mechanizacji, z innowacyjnymi rozwiązaniami maszyn i urządzeń, wyposażonych w nowoczesne systemy sterowania, monitoringu i diagnostyki, z uwzględnieniem bezpieczeństwa pracy, zwalczania zagrożeń i ochrony zdrowia pracowników.

Opracowywano je z pomocą doskonalonych metod oceny wyrobów, wspomaganych badaniami w akredytowanych laboratoriach.

Zachęcając do lektury niniejszej monografii wyrażamy nadzieję, że przedstawiona tematyka będzie stanowić istotny wkład w rozwój bezpiecznego górnictwa.

prof. dr hab. inż. Adam Klich
dr inż. Antoni Kozieł
Redaktorzy naukowcy monografii

Gliwice, listopad 2016 r.

SPIS TREŚCI

Rozdział I

NOWE TECHNIKI I TECHNOLOGIE W GÓRNICTWIE PODZIEMNYM

1. Nowa idea mechanizacji wykonywania pasów podsadzkowych..... 6
2. Techniczne aspekty zagospodarowania geotermicznego ciepła kopaliń.....18

Rozdział II

INNOWACYJNE ROZWIĄZANIA MASZYN I URZĄDZEŃ DLA GÓRNICTWA

1. Wyniki badań stanowiskowych innowacyjnego systemu posuwu Flextrac.....28
2. Nowe urządzenia zraszające.....52

Rozdział III

NOWOCZESNE SYSTEMY STEROWANIA, MONITORINGU I DIAGNOSTYKI MASZYN I URZĄDZEŃ

1. Zdalne sterowanie kombajnem chodnikowym – aspekt praktyczny.....63
2. Dyspozytornia Zakładu Górniczego Sobieski TAURON Wydobywie S.A. jako przykład nowoczesnych systemów i rozwiązań w zakresie monitorowania zagrożeń i procesu produkcyjnego75
3. Koncepcja inteligentnego systemu monitoringu i diagnostyki paneli fotowoltaicznych..... 110

Rozdział IV

METODY OCENY MASZYN I URZĄDZEŃ

1. System oceny zgodności wyrobów jako jeden z podstawowych czynników zapewnienia bezpieczeństwa ich użytkowania126
2. Teoretyczne wyznaczenie dynamicznego współczynnika dla stojaka zmechanizowanej obudowy ścianowej przy uderzeniowym obciążeniu133

Rozdział V**BEZPIECZEŃSTWO PRACY W GÓRNICTWIE, ZWALCZANIE ZAGROŻEŃ
ORAZ OCHRONA ZDROWIA**

1. Eksploatacja układów transportowych – wdrażanie nowych rozwiązań i dobrych praktyk zwiększających poziom bezpieczeństwa.....	140
2. Wstrząsy górotworu i tąpnięcia w latach 1981-2015.....	148
3. Diagnoza ergonomiczna stanowiska pracy szlifierza	157
4. Badania uciążliwości zapachowych	170
Indeks autorów.....	180

Nowa idea mechanizacji wykonywania pasów podsadzkowych

Jacek Korski – FAMUR S.A.

Streszczenie: Wykonywanie pasów podsadzkowych dla utrzymania i późniejszego, ponownego wykorzystania chodnika przyścianowego za frontem ściany jest jedną z czynności, które znacząco mogą wpłynąć na wynikową zdolność wydobywczą ściany. Nawet współcześnie pasy podsadzkowe czy inne instalacje ochronne (jak kaszty czy łamacze) wykonuje się lub montuje ręcznie, ale przez wiele lat podejmowano działania na rzecz mechanizacji ich wykonywania. Opracowane w przeszłości rozwiązania mechanicznego wykonywania wygradzeń czy tam podsadzkowych dla wykonywania pasów ochronnych (podsadzkowych) nie rozpowszechniły się z różnych przyczyn. W rozdziale pokazano opracowaną w FAMUR S.A. nową ideę wykonywania pasów podsadzkowych eliminującą praco- i czasochłonne prace wykonywane ręcznie. Pokazano także, jak istotne jest zdefiniowanie problemu przed przystąpieniem do jego rozwiązania.

New idea of backfilling method

Abstract: Sometime solid backfill stripes are necessary for longwall gate (gallery) protection and dual gate use. This operation is one of important factors for longwall efficiency (productivity). In the past gate protection solutions as different kinds of timbers or chocks were handmade (assembled). Solid backfill stripes handmade from the beginning, but for a long time were made attempts to mechanize this operations. In article is presented new idea solved in FAMUR decreasing time and work consumption in this operation. In article is also presented how important is to thoroughly recognize and describe the problem or goal.

1. Wprowadzenie

Wysoko wydajne kompleksy ścianowe, dla osiągnięcia założonych, wyników wymagają wyeliminowania wszystkich zbędnych czynności, które nie są związane z podstawowymi czynnościami cyklu pracy ściany [4], jak:

- urabianie,
- ładowanie urobku,
- transport urobku poza przodek wydobywczy – ścianę,

oraz niezbędnych w procesie wydobywczym operacji pomocniczych, czyli:

- przesuwanie obudowy zmechanizowanej,
- przesuwanie przenośnika ścianowego.

Każda inna czynność i operacja wykonywana w ścianie lub jej bezpośrednim sąsiedztwie i powodująca niezbędne przerwy technologiczne [5] w realizacji podstawowych, wymienionych wyżej czynności ogranicza dobową dostępność kompleksu ścianowego i, rezultacie, możliwy do uzyskania poziom wydobywania dobowego.

Jedną z czynności związanych z ruchem ściany jest wykonywanie robót dla utrzymania jednego lub obu chodników przyścianowych dla ponownego ich wykorzystania dla kolejnych pól ścianowych. Należy jednak zauważyć, że najbardziej wydajne kompleksy ścianowe w światowym górnictwie węglowym prowadzone są bez utrzymywania chodników za frontem

ściany. Zdarzają się jednak sytuacje, że niektórzy użytkownicy kompleksów ścianowych wymagają łącznie zapewnienia wydobywania dobowego na poziomie kilkunastu tys./d przy ochronie jednego z chodników przyścianowych pasami podsadzki utwardzalnej.

W taki sposób zdefiniowano m.in. wymagania dla nowego kompleksu ścianowego dla tureckiej kopalni Adularya, gdzie ograniczeniem dla już pracującego kompleksu stało się wstrzymywanie ruchu ściany wskutek pracochłonnego ręcznego wykonywania tam podsadzkowych i następnie wypełniania wygrozdzonej przestrzeni samoutwardzalną podsadzką na bazie popiołu lotnego.

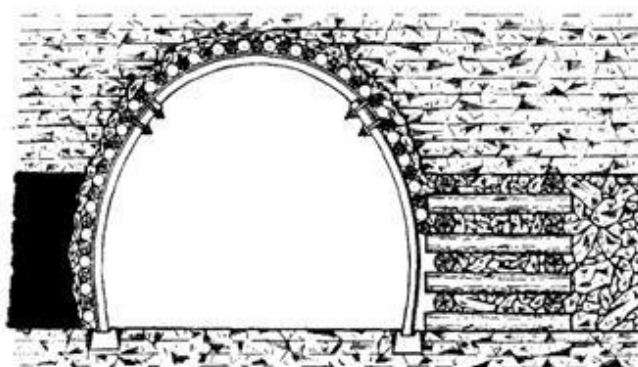
Ze względu na to, że znane wcześniej rozwiązania techniczne w zakresie mechanizacji czy tylko szybkościowego wykonywania pasów podsadzkowych nie spełniały oczekiwań kopalni konieczne było poszukiwanie nowego, możliwego do zaakceptowania rozwiązania. Pomocne okazało się zastosowanie innego, znanego z literatury[2, 3, 6], podejścia do formułowania problemu technicznego, jego celu i metodologii rozwiązywania tego problemu. W efekcie powstało rozwiązanie, które stanowi twórcze połączenie kilku znanych wcześniej pomysłów w jedno rozwiązanie, które eliminuje z cyklu wydobywczego ściany przerwy technologiczne związane z wykonywaniem pasa podsadzkowego wzdłuż chodnika podścianowego – nie zachodzi potrzeba wstrzymywania ruchu ściany dla uniknięcia nadmiernej rozpiętości ściany na jej końcowym odcinku.

2. Utrzymywanie chodników przyścianowych w praktyce światowej

Metody i środki stosowane do utrzymywania chodników przyścianowych za frontem ściany mają bardzo bogatą literaturę [m.in. 7, 8, 9, 10, 11, 12, 16, 17, 18, 19] i charakteryzują się różnym stopniem złożoności technicznej i organizacyjnej oraz skutecznością.

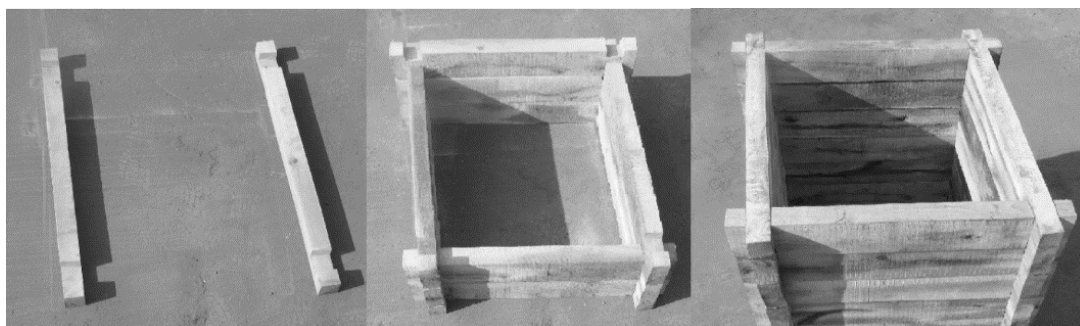
W wielu kopalniach złóż pokładowych (w tym węgla kamiennego i brunatnego) stosuje się ścianowe systemy wybierania, w których dla zachowania funkcjonalności chodnika lub chodników przyścianowych stosuje się różne rozwiązania polegające na wykonaniu wzdłuż chodnika za frontem ściany kasztów, stosów lub pasów podsadzki. Stosowane rozwiązania istotnie wpływają na wydajność ściany. Pracochłonność i czas wykonania kasztów, stosów lub ochronnych pasów podsadzki mogą istotnie ograniczyć postęp ściany ze względu na maksymalny bezpieczny w danych warunkach odstęp pomiędzy czołem ściany a ostatnim wykonanym i pracującym kasztem, stosem lub wykonanym pasem podsadzkowym.

Znany jest z opisów literaturowych oraz internetowych sposób wykonania wzdłuż chodnika przyścianowego kasztów wykonanych z drewna lub z drewna wypełnionego kamieniem lub materiałem ceramicznym (na bazie betonów).



Rys.1. Przykład kasztu drewnianego dla ochrony chodnika przyścianowego za frontem ściany [14, 12]

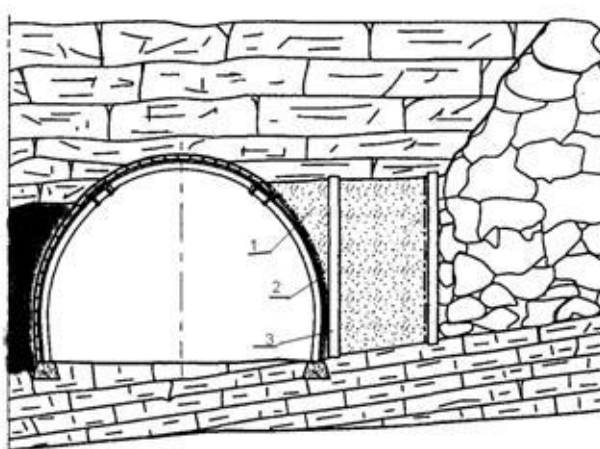
Współcześnie podobne rozwiązanie oferuje firma ADI w postaci kasztów drewnianych drewna profilowanego, które dla wzmocnienia mogą być wypełniane kamieniem lub materiałem samoutwardzalnym.



Rys.2. Kaszty drewniane firmy ADI dla ochrony chodników przyścianowych [zdjęcie autor]

Wykonanie pasa podsadzkowego wymaga znacznego nakładu pracy i czasu, a zwłaszcza wstępne zabezpieczenie stropu i wyгородzenie wypełnianej przestrzeni w postaci traconych stojaków i płótna podsadzkowego.

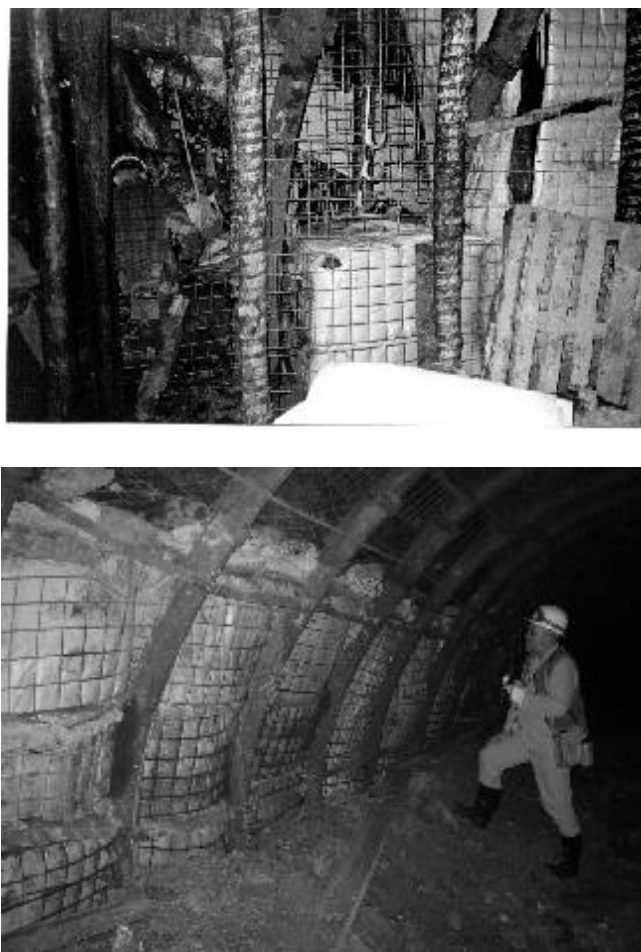
Technologia dostarczania, przygotowania i wykonania materiału (spoiwa) wiążącego na potrzeby pasa ochronnego jest znana od wielu lat i opisywana między innymi w [1] lub na stronach internetowych firm zajmujących się takimi technologiami (np. www.minova.pl czy www.dsi.schaumchemie.pl).



Rys.3. Schemat ochrony chodnika pasem wykonanym ze spoiwa wiążącego: 1 - spoiwo wiążące, 2- płótno podsadzkowe i siatka metalowa, 3 – stojaki drewniane [wg 14]

Pasy podsadzkowe powstają najczęściej przez wyгородzenie strefy podsadzanej w nawiązaniu do istniejącej obudowy chodnika (np. podporowej).

W górnictwie polskim stosuje się przeważnie płótno podsadzkowe rozpinane na stojakach (łukach) obudowy z jednej strony a z pozostałych stron na stojakach drewnianych. Do tak wyгородzonej przestrzeni (pewnego rodzaju szalunek) włącza się najczęściej materiały podsadzkowe na bazie mieszaniny popiołów lotnych z cementem portlandzkim.



Rys.4. Pasy utwardzalnej podsadzki dla ochrony chodnika przyścianowego z materiału Tekblend (Minova) w trakcie wykonywania i chodnik po wykonaniu pasa [15]

Wygradzenie jest wykonane z trudnopalnego i antystatycznego płótna podsadzkowego PP-fabric G04. Według [15] wadami takiego rozwiązania są, między innymi, niedotrzymanie wymiarów pasa i jego podparcie tylko od strony sąsiednich odcinków pasa (poprzedniego i następnego w kolejności wykonania (brak podparcia od strony chodnika i zawалу ściany).

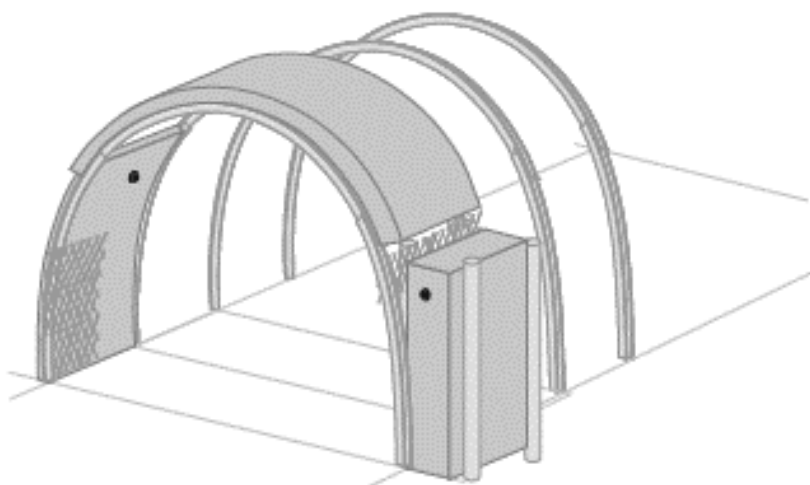
Coraz częściej do wykonywania pasów podsadzkowych lub jako substytut kasztów [15] wykorzystuje się tzw. worki kontenerowe (np. minobag [14]), których wadą, podobnie jak przy wygradzaniu pasów podsadzki jest słabe utrzymywanie kształtu przez worek

Dlatego stosuje się także pojemniki (worki) zbrojone drutem (rys. 5) jak wynika z obserwacji zastosowanie pojemników zbrojonych drutem stalowym znacznie powiększa wytrzymałość słupa.



Rys.5. Słup podszkockowy z worka kontenerowego wzmocnionego drutem stalowym w trakcie badań stanowiskowych w NIOSH [źródło - 15]

Znane są także worki kształtowe Minobag firmy Arnall-Minova [14], których wypełnienie wymaga także zastosowania rozparcia (pewnego rodzaju oszalowania) dla ich poprawnego wypełnienia.



Rys.6. Przykład zastosowania kształtowych worków kontenerowych Minobag dla zabezpieczenia chodnika w kopalni [14]

Zadaniem worków pokazanych na rysunku 6 jest poprawa współpracy łukowej obudowy podporowej z górotworem, a nie wykonie pasa ochronnego.

Wykonywanie dodatkowych stabilizacji, szalunków etc. pochłania dodatkową robociznę i czas.

3. Metodologia rozwiązywania problemu technicznego. Wykonywanie pasa podsadzkowego w ścianie zmechanizowanej według FAMUR S.A.

Znalezienie rozwiązania problemu technicznego jakim jest wykonywanie pasów podsadzkowych wzdłuż chodnika przyścianowego ściany kompleksowo zmechanizowanej wymagało zdefiniowania na nowo tego problemu. Przy projektowaniu tradycyjnym powstałoby rozwiązanie, które alternatywnie zastępowałoby pracę ręczną pracą maszyn prostych lub urządzeń powielających pracę (ruchy) człowieka albo tworzyło układ techniczny do wygradzania pasa podsadzki o dużym stopniu złożoności i wątpliwej funkcjonalności i niezawodności w praktycznym zastosowaniu.

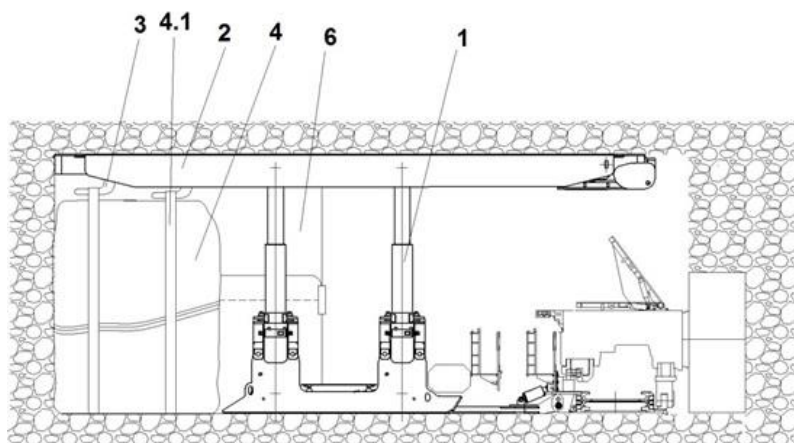
Alternatywą dla myślenia tradycyjnego stało się podejście systemowe wg tzw. metody Nadlera, którego podstawową ideą jest budowa idealnego rozwiązania, a następnie, drogą kolejnych przybliżeń doprowadzenie do jakościowo lepszego od istniejących, wykonalnego rozwiązania. Doprowadziło to do określenia na nowo problemu technicznego nie jako odpowiadającego *jak zmechanizować wykonywanie pasów podsadzkowych*, ale *jak wykonywać skuteczne pasy podsadzkowe bez wstrzymywania ruchu ściany*?

4. Wykonywanie pasa podsadzkowego w ścianie zmechanizowanej według FAMUR S.A.

Zmiana definicji problemu spowodowała, że, w istniejących warunkach, założono, iż nowe rozwiązanie musi stworzyć sytuację w której cykl wykonania odcinka pasa podsadzkowego będzie mieścił się czasowo w cyklu pracy ściany. Oznacza to, że wykonanie odcinka pasa podsadzkowego będzie wykonywane pomiędzy kolejnymi przemieszczeniami przychodnikowych (skrajnych) sekcji obudowy zmechanizowanej ściany. Uwzględniono przy tym, że stosowana podsadzka samoutwardzalna zaczyna twardnieć ok 10-15 minut od chwili opuszczenia rurociągu podsadzkowego czyli zachowuje pamięć kształtu zastosowanego wygradzenia.

4.1. Ogólna idea nowego podejścia do wykonywania pasa podsadzkowego według FAMUR S.A.

Jako ideę wykorzystano typowe podwieszane, miękkie pojemniki na materiały sypkie typu *big bag*.



Rys.7. Przykład obudowy zmechanizowanej przystosowanej do wykonywania pasów podsadzkowych z workami typu big bag (1 – stojaki obudowy, 2 – stropnica, 3 – zawieszania dla worków big bag, 4 – worek big bag, 4.1. – wieszak worka big bag, 6 – boczna osłona odzawałowa)
[opracowanie własne]

Zastosowanie worka kontenerowego typu *big bag* do wykonywania ochronnych pasów podszkazy utwardzanej dla ochrony chodników przyścianowych w ścianie zmechanizowanej (częściowo lub kompleksowo) pozwala na wykonanie najbardziej pracochłonnej i czasochłonnej czynności (czyli wygradzania przestrzeni wypełnianej mieszaniną betonową – spoiwem wiążącym) częściowo poza ścianą (w warsztacie wykonującym dedykowany worek typu *big-bag*).

Sposób wykonywania ochronnych pasów podszkazy utwardzanej dla ochrony chodników przyścianowych w ścianie zmechanizowanej według pomysłu FAMUR S.A. charakteryzuje się tym, że worek kontenerowy typu *big bag* (o kształcie dostosowanym do wymiarów pasa podszkazkowego czyli wysokości ściany kroku, podszkazywania i szerokości tego pasa lub podziałki sekcji) jest podwieszany na tylnej części przychodnikowej obudowy ściany (obudowa indywidualna lub zmechanizowana na odcinku szerokości pasa podszkazkowego) w stanie pustym. Po podwieszeniu worka kontenerowego wyposażonego w uszy do zawieszania na stropnicy (lub stropnicach) obudowy następuje wlewanie do niego mieszaniny popiołowo-cementowej z dodatkiem spoiwa wiążącego podawanego pompą zlokalizowaną poza ścianą. Wzrost masy materiału wiążącego powoduje naciągnięcie (napięcie) ścian bocznych i utrzymywanie kształtu worka kontenerowego do czasu wstępnego stwardnienia materiału (zachowanie kształtu przed uzyskaniem pełnej wytrzymałości). Operacja wykonywana jest pod zabezpieczonym stropem (np. w zależności od rodzaju stosowanej obudowy skrajnej, przychodnikowej części ściany, zabudowaną wysięgnikowo stropnicą stalowo członową lub stropnicą sekcji obudowy zmechanizowanej).

W tym czasie, po urobieniu przez kombajn calizny następuje zabezpieczenie stropu przychodnikowej części ściany za pomocą zabudowanej wysięgnikowo stropnicy (np. członowej) lub wysunięcie stronicy wysuwnej (lub, w zależności od konstrukcji obudowy, wychylenie osłony czoła ściany o kąt $+180^{\circ}$). Napędowa część przenośnika ścianowego zostaje dosunięta do ociosu węglowego. Nadal trwa wypełnianie dedykowanego worka kontenerowego typu *big bag* spoiwem wiążącym.

Po wykonaniu kolejnego skrawu i odjeździe kombajnu następuje:

- W przypadku obudowy zmechanizowanej jej przesunięcie (zabudowanie do czoła ściany). W trakcie przesuwania obudowy zawiesia (uszy) leżącego dolną częścią na spągu worka kontenerowego (wypełnionego już w znacznym stopniu spoiwem wiążącym – podszkazy utwardzaną) zsuwają się z zawiesi na obudowie. Worek kontenerowy pozostaje w miejscu i jest dopełniany spoiwem wiążącym pod ciśnieniem celem uzyskania możliwie pełnego kontaktu ze stropem. Strop podparty jest poprzednio wykonanym odcinkiem pasa podszkazy i obudową ściany.
- W przypadku obudowy indywidualnej (np. stalowo-członowej) pod najbliższą ociosu część stropnicy (lub zabudowaną wysięgnikowo stropnicą członową) rozpiera się stojak oraz zabezpiecza się strop w przyociosowej części stropnicą wysięgnikową. W tylnej części tego odcinka ściany wyjmuje się z uszu (zawiesi) tylną stropnicę i trwa dalsze wypełnianie worka kontenerowego *big bag* spoiwem wiążącym aż do uzyskania możliwie pełnego kontaktu ze stropem.

W jednym i drugim wariancie (obudowa zmechanizowana indywidualna) powstaje miejsce do zawieszenia kolejnego worka kontenerowego i możliwość jego wypełniania jeszcze pod zabezpieczonym stropem.

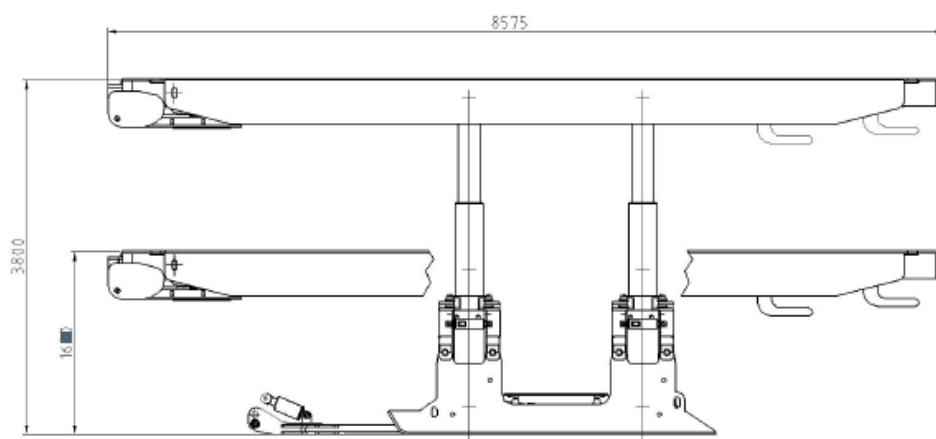
4.2. Szczegóły rozwiązania

Podstawowa idea rozwiązania polega na tym, że pod stropnicami skrajnej części ściany od strony zrobów (od tyłu – przeciwnej strony do ociosu węglowego ściany), podwieszony jest worek typu *big-bag* o wymiarach poziomych (krok podsadzania [m] x szerokość pasa podsadzkowego + 0,5 m i o wysokości 110% wysokości roboczej ściany w miejscu wykonywania pasa. Wydajność wypełniania *big baga* i szybkość twardnienia materiału powodują, że nie nastąpi zniszczenie *big бага*. Jednocześnie stopniowo wypełniany worek kontenerowy typu *big bag* będzie układał się (przyjmował) kształt ociosu chodnika. Istnieje możliwość zastosowania dwóch lub więcej worków o szerokości będącej naturalnym podziałem wyznaczonego pasa podziału i ustawiania sąsiednich worków kontenerowych z przesunięciem („w szachownicę”).

Zastosowanie worka kontenerowego typu *big bag* zawieszonego na obudowie ściany do wykonywania ochronnych pasów podsadzki utwardzanej dla ochrony chodników przyścianowych w ścianie zmechanizowanej (częściowo lub kompleksowo) według FAMUR S.A. umożliwia zasadnicze zwiększenie wydajności ściany przez skrócenie czasu trwania operacji wykonywania odcinka pasa podsadzkowego (ochronnego) wzdłuż chodnika przyścianowego. Wyeliminowane zostają czynności związane z ręcznym wykonaniem kasztów, stosów lub wygrodzenia przestrzeni wypełnianej następnie spoiwem wiążącym. Większość czynności związanych z wykonaniem pasa podsadzkowego z wykorzystaniem podwieszanych worków kontenerowych typu *big bag* odbywa się pod zabezpieczonym stropem istotnie podnosząc bezpieczeństwo tej operacji. Ograniczona zostaje także ilość trudnych do zmechanizowania prac związanych z ręcznym przenoszeniem materiałów potrzebnych do ręcznego wykonania wygrodzenia odcinka wypełnianego materiałem samoutwardzalnym.

4.3. Niezbędne modyfikacje systemu technicznego ściany

Zaproponowane rozwiązanie wymaga zastosowania na projektowanej szerokości pasa podsadzkowego obudowy zmechanizowanej ściany z wydłużoną w tył stropnicą jak pokazano to na rysunku 7.

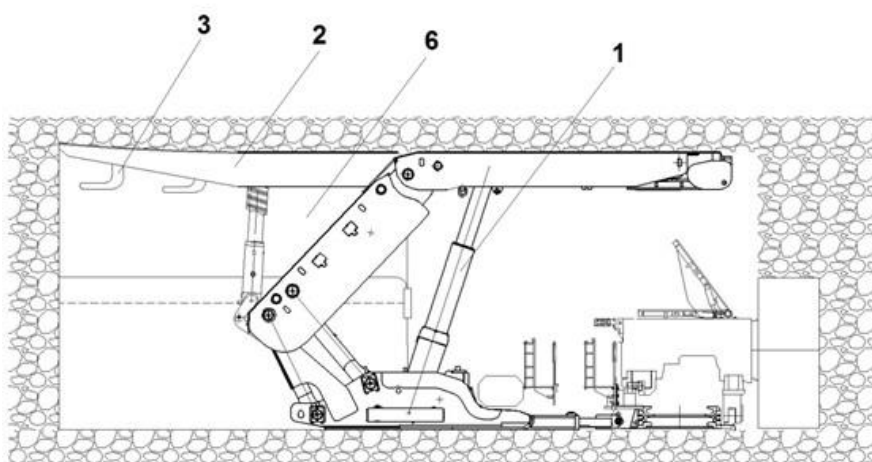


Rys.8. Przykład obudowy zmechanizowanej ściany (sekcje skrajne) przystosowanej wykonywania ochronnych pasów podsadzki utwardzanej dla ochrony chodników przyścianowych w ścianie zmechanizowanej z zastosowaniem podwieszanych na obudowie worków kontenerowych typu *big bag* [opracowanie własne]

Możliwe jest zastosowanie sekcji obudowy zmechanizowanej o innej konstrukcji z zapewnieniem jednak wydłużenia stropnicy do tyłu dla zabezpieczenia przestrzeni w której napętniony będzie *big bag*.

Boczna osłona odzawałowa na sekcji przylegającej do pierwszej liniowej sekcji ściany ma zadanie odgrodzenia przestrzeni roboczej dla wieszania worka *big bag*, jego wypełniania przed gruzowiskiem zawałowym liniowej części ściany.

Zaletą rozwiązania pokazanego na rysunku 9 jest zmniejszenie gabarytów transportowych obudowy i możliwość standaryzacji wielu elementów dedykowanych obudów z typowymi sekcjami obudowy liniowej ściany.



Rys.9. Inne rozwiązanie obudowy zmechanizowanej przystosowanej do wykonywania pasów podsadzkowych z workami typu *big bag* (1 – stojak, 2 - tylna stropnica, 3 – haki do zawieszania worków typu *big bag*, 6 – boczna osłona odzawałowa) [opracowanie własne]

Oprócz zmian konstrukcyjnych sekcji przystosowanych do wykonywania pasów podsadzki utwardzanej pozostałe elementy systemu technicznego ściany nie wymagają żadnych zmian.

4.4. Cykl wykonania odcinka pasa podsadzkowego

Stan wyjściowy

Obudowa skrajna przy chodniku dosunięta do przenośnika. Trwa wypełnianie *big bag*a mieszaniną betonową.

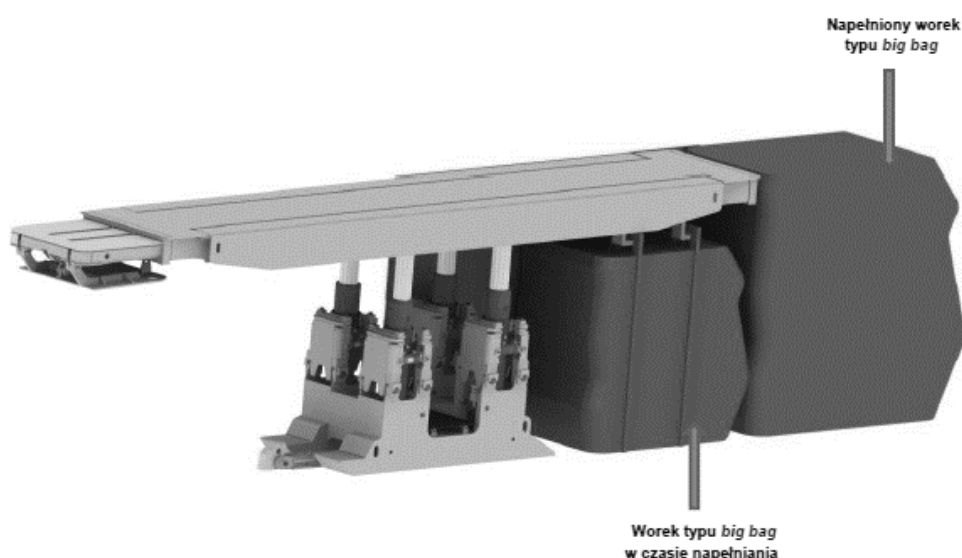
Kolejność czynności:

1. Po wykonaniu pierwszego skrawu, sekcje podsadzkowe nie są przesuwane (trwa podsadzanie). Odsłonięty strop zostanie zabezpieczony poprzez wysunięcie ruchomej części stropnicy o 0,8 m. Napęd główny przenośnika zostaje dosunięty do ociosu węglowego.
2. Po wykonaniu drugiego skrawu, operator przesuwa sekcje podsadzkowe o 0,8 m, następnie wsuwa ruchomą część stropnicy i przesuwa sekcję o kolejne 0,8 m (w tym czasie poprzedni worek jest już wypełniony materiałem podsadzkowym).

3. Po wykonaniu trzeciego skrawu, operator przesuwają sekcję o kolejne 0,8 m.
4. Worek zostaje odłączony od sekcji i uzupełniony materiałem podsadzkowym.
5. Kolejny worek typu *big-bag* zostaje podłączony pod stropnicą i rozpoczyna się kolejny cykl podsadzania.
6. W przypadku wystąpienia złych warunków stropowych, należy podczas przesuwania sekcji stosować wykładkę stropu.

Uwaga: Przedstawiona technologia przyjmuje wydajność wypełniania 12 m³/h, czas stwardnienia mieszanki 2 h oraz prędkość urabiania kombajnu 5 m/min i wydobyć dobowe 7500 tpd przy jednokierunkowym urabianiu. Ograniczeniem jest wydajność istniejącej instalacji podawania mieszanki samoutwardzalnej.

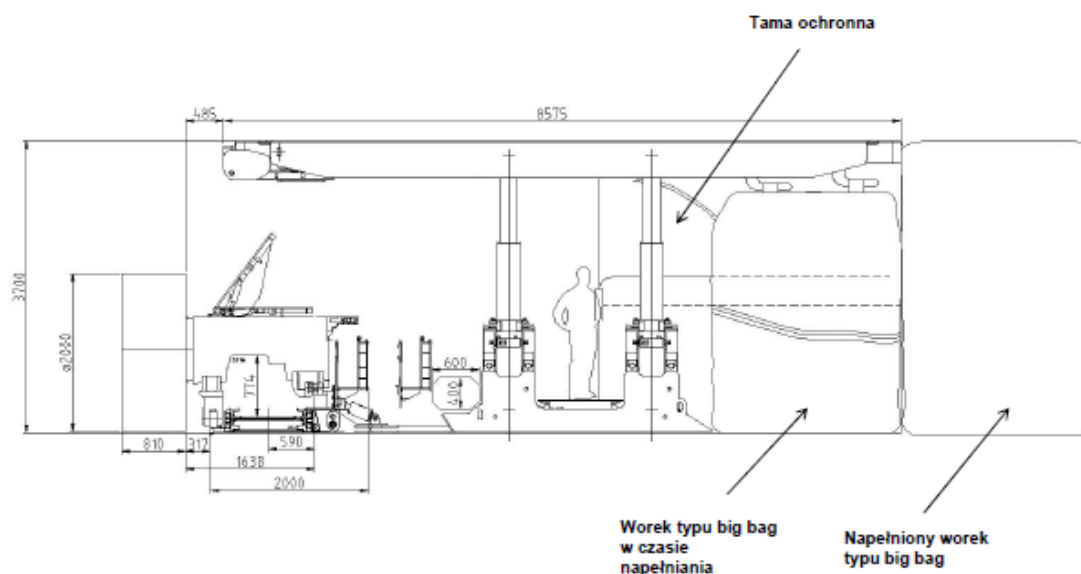
Istnieje możliwość zwiększenia wydajności ściany – warunkiem zwiększenie wydajności wypełniania worka *big-bag*.



Rys.10. Idea zastosowania worków kontenerowych typu *big-bag* do wykonania pasa podsadzkowego we współpracy z dedykowaną 4-stojakową skrajną obudową ściany (obudowa typu podporowego)

Rozważania i obliczenia wydajnościowe przeprowadzono dla istniejącej w kopalni Adularya instalacji do wytwarzania podsadzki samoutwardzalnej

Sekcja skrajna przylegająca do sekcji liniowych wyposażona jest w osłonę (przegrodę) odgradzającą gruzowisko zawałowe od przestrzeni za sekcjami.



Rys.11. Przykładowe rozwiązanie skrajnego odcinka ściany zawałowej dostosowanego zmechanizowanego wykonywania pasów podsadzki utwardzalnej z zastosowaniem podwieszanych na obudowie dedykowanych worków kontenerowych

W opisanym przykładzie istnieje także możliwość zastosowania worków *big bag* o wymiarach 3,5 x 1,6 m (szerokość x długość (krok podsadzania) oraz zastosowania dwukierunkowego urabiania kombajnem ścianowym, co przy konwencjonalnym wygradzaniu przestrzeni dla pasa ochronnego.

Jedynymi czynnikami ograniczającymi postęp ściany przy proponowanym rozwiązaniu jest niesprawność lub niedostateczna wydajność instalacji podającej samoutwardzalną mieszankę podsadzkową.

5. Podsumowanie

Zastosowanie podejścia systemowego pozwoliło na opracowanie stosunkowo prostego rozwiązania spełniającego zadanie techniczne. Istotne okazało się sformułowanie celu tego zadania. Przedstawione rozwiązanie zostało przedstawione klientowi FAMUR S.A. i zaakceptowane przez niego jako spełniające oczekiwania. Stało się także przedmiotem zgłoszenia patentowego.

Dotychczas nie podjęto produkcji obudów dostosowanych do wykonywania pasów podsadzki z wykorzystaniem worków kontenerowych typu *big bag* ze względów na finansowe problemy tureckiego przedsiębiorcy i wstrzymanie zakupów inwestycyjnych.

Literatura

1. Barczak T.M., Tadolini S.C.: Pumpable Roof Supports: An Evolution in Longwall Roof Support Technology, 2006.

2. Bąbiński Cz.: Elementy nauki o projektowaniu. Seria: Problemy i metody techniki. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1972.
3. Dietrich J.: Konstrukcja i konstruowanie. Seria: Problemy i metody techniki. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1972.
4. Korsi J., Korsi W.: Underground mine as a system of processes. „Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering” 02/2015 (electronic edition).
5. Korsi J.: Czas jako zasób a efektywność wydobywania. Przegląd Górniczy nr 8/2016 s. 46-50.
6. Krick E.: Wprowadzenie do techniki i projektowania technicznego. Seria: Problemy metody techniki. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1972.
7. Milicevic Z., Milic V.: Technologija Podzemne Eksploatacije Ležista Mineralnih Sirovin. Univerzitet u Beogradu Tehnicki Fakultet u Bora, Bor 2013.
8. Ostrihansky R.: Eksploatacja podziemna złóż węgla kamiennego. „Śląsk” Spółka z o.o., Katowice 1996.
9. Piechota St., Stopyra P., Poborska-Młynarska K.: Systemy podziemnej eksploatacji złóż węgla kamiennego, rud i soli. Wydawnictwa AGH, Kraków 2009.
10. Praca zbiorowa (Probiez K., Strzałkowski P. – red.): Zarys podziemnego górnictwa węgla kamiennego. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
11. Singh R. D.: Principles and practices of modern coal mining. New Age International Publishers, New Delhi 1997.
12. Staroń T.: Górnictwo ogólne. Politechnika Lubelska, Lublin 1995.
13. Strona internetowa www.czek.eu.
14. Strona internetowa: www.minova.pl
15. Węzik W., Franek J.: Słupy podsadzkowe – Podstawowe cechy (Pumpable Cribs – Basic features) – strona internetowa: www.fast10.vsb.cz/science/seminar2009/pics/42pdf.
16. Znański J.: Podziemna eksploatacja złóż. Górnictwo t. IV. Eksploatacja złóż cz.2. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1964.
17. Бокий Б.В. : Горное дело. Госгортехиздат, Москва 1959.
18. Борисов С.С.: Горное дело. „Недра”, Москва 1988.
19. Егоров, П. В. Подземная разработка пластовых месторождений. МГТУ, Москва 2002.

Techniczne aspekty zagospodarowania geotermicznego ciepła kopalń

Andrzej Drwięga – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie: Podziemia likwidowanych kopalń mogą stanowić istotne i wartościowe źródło energii cieplnej na długie lata po zaniechaniu w nich eksploatacji górniczej. Możliwość efektywnego zagospodarowania ciepła górotworu jest głównym wątkiem niniejszego rozdziału. Omówiono przykłady inwestycji zagospodarowania ciepła podziemi kopalń, głównie z wypompowywanej wody. Wskazano na różnice proponowanej nowej technologii, wykorzystującej rozbudowany, podziemny wymiennik ciepła. Omówiono zagadnienia techniczne, związane z konstrukcją i zabudową podziemnego wymiennika ciepła, transportu ciepła dolnego źródła w obiegu zamkniętym, konstrukcją zespolonego układu pompy ciepła z kogeneratorem, umożliwiającego osiągnięcie maksymalnej sprawności produkowania energii cieplnej.

Technical aspects of recovery of geothermal energy form mines

Abstract: Undergrounds of abandoned mines can be a valuable source of thermal energy for many years after closing the mine. Possibility of effective recovery of heat from rock mass is the main idea of the article. Some investments concerning the recovery of heat from mine underground, mainly from pumped out water are discussed, indicating the difference of the suggested technology, which uses the expanded underground heat exchanger. Technical issues associated with design and installation of the underground heat exchanger, transportation of warm water to the heat pump in a closed circuit, design of the combined system of co-generator and heat pump to obtain high efficiency of produced thermal energy is discussed.

1. Wstęp

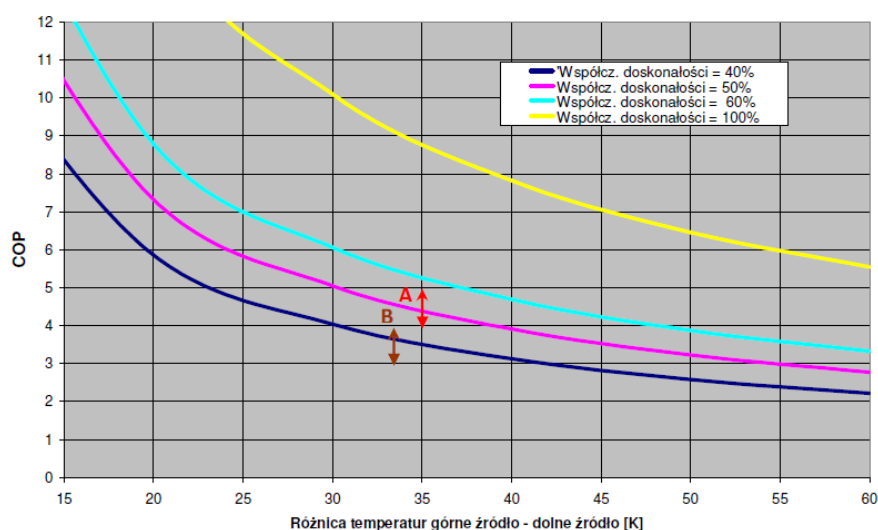
Podziemia likwidowanych kopalń już od lat 80-tych ubiegłego stulecia są przedmiotem rozważań w kierunku zagospodarowania ciepła do celów użytkowych z uwagi na fakt, że temperatura górotworu na głębokości kilkuset metrów jest niezależna od czynników atmosferycznych. Wdrożono już kilkadziesiąt instalacji, o mocach od kilku kilowatów do kilku megawatów, wykorzystujących wody wypompowywane z podziemi kopalń jako dolne źródło ciepła dla pomp ciepła. Dolne źródło ciepła odpowiada za dostarczenie do parownika pompy ciepła energii potrzebnej do zmiany stanu skupienia czynnika roboczego. Temperatura dolnego źródła dla pompy ciepła jest bardzo istotną cechą, mającą wpływ na współczynnik sprawności pompy ciepła COP. Pomimo czynionych starań i zrealizowanych już inwestycji, udział uzyskiwanej energii cieplnej w bilansie energetycznym konkretnych państw czy globalnej gospodarki energetycznej jest marginalny. Jednym z powodów takiego stanu rzeczy jest fakt, że technologia pomp ciepła wymaga zaangażowania energii zewnętrznej, przeważnie w postaci energii elektrycznej do napędu sprężarek, w ilości stanowiącej 20-50% produkowanego ciepła. Energia cieplna nie może być przekazywana na duże odległości, co stanowi kolejne ograniczenie możliwości zagospodarowania ciepła górotworu.

Tymczasem wzrastające zapotrzebowanie przemysłu oraz gospodarstw domowych na energię pociąga za sobą wzrost zużycia paliw oraz emisji gazów do atmosfery. Z uwagi na konieczność ochrony środowiska naturalnego, w tym przeciwdziałania zmianom klimatycznym koniecznym jest, aby procesy energetyczne były realizowane w taki sposób, aby energia paliw była wykorzystywana w maksymalnym stopniu bez strat w postaci ciepła odpadowego. W energetyce zawodowej znanym od dawna sposobem poprawy opłacalności ekonomicznej przetwarzania energii jest równoczesne wytwarzanie energii elektrycznej i ciepłej w elektrociepłowniach. W wyniku wysokiego stopnia przetworzenia pierwotnej energii chemicznej zawartej w paliwie, gospodarka skojarzona w znacznym stopniu przyczynia się do zmniejszenia zużycia energii, a w ten sposób do poszanowania zarówno zasobów surowcowych, jak i środowiska naturalnego. Skojarzone wytwarzanie energii mechanicznej i ciepłej zwane jest Kogeneracją (Combined Heat and Power). Kogeneracja w oparciu o silniki spalinowe jest zaawansowaną technologią stosowaną ze względu na duże korzyści energetyczne, ekologiczne i ekonomiczne. Efekty te spowodowane są istotnym postępowaniem w dziedzinie silników spalinowych zarówno tłokowych, jak i turbinowych.

Dostrzegając wyżej omówione aspekty możliwości zagospodarowania ciepła podziemia kopalni, z jednej strony dostępnego potencjału geotermicznego, a z drugiej rozwój systemów kogeneracyjnych, dostrzeżono możliwość ich technicznego skojarzenia w celu uzyskania instalacji wykorzystującej ciepło geotermalne z dużą, co najmniej dwukrotnie większą efektywnością energetyczną, niż w dotychczas uruchomionych instalacjach.

2. Przewaga zintegrowanego układu pompy ciepła i kogeneratora

Działanie pompy ciepła można porównać do działania transformatora energii elektrycznej, który przekształca prąd o niskim napięciu i dużym natężeniu na prąd o wysokim napięciu i małym natężeniu. Niskie napięcie odpowiada niskiej temperaturze czynnika odbierającego ciepło z dolnego źródła (na przykład z pod powierzchni gruntu), a duże natężenie odpowiada dużej ilości czynnika niskotemperaturowego dostarczanego do pompy ciepła. Na wyjściu otrzymujemy wyższą temperaturę czynnika (wody grzewczej) przy mniejszej ilości w porównaniu do ilości czynnika niskotemperaturowego. Uzyskiwana temperatura wody pozwala na jej użycie w celach grzewczych. Należy mieć na uwadze, że im wyższa różnica temperatur po obu stronach pompy, tym mniejszy współczynnik sprawności COP. Współczynnik COP wyraża proporcję energii ciepłej wygenerowanej przez pompę do energii elektrycznej, pobranej głównie przez sprężarkę pompy ciepła. COP uważa się za korzystny gdy osiąga wartość równą lub większą niż 4. Dążąc do utrzymywania pracy pompy przy korzystnym współczynniku COP, zaleca się podłogowy system ogrzewania, który wykorzystuje czynnik grzewczy o niższej temperaturze, rzędu 30°C, przy większej powierzchni emisji ciepła. Zależność współczynnika COP od różnicy temperatury dolnego i górnego źródła ilustruje rysunek 1.



Rys.1. Wpływ różnicy temperatury dolnego i górnego źródła pompy ciepła na współczynnik COP [Internet]

Nawiązując do przykładu transformatora, ilość energii cieplnej po stronie pierwotnej i wtórnej, pomijając straty, podobnie jak przy transformowaniu energii elektrycznej, pozostaje taka sama.

Stosowanie pompy ciepła wymaga jej zasilania energią elektryczną, co ma ogromny wpływ na rzeczywisty efekt energetyczny po uwzględnieniu sprawności wytwarzania i przesyłu energii elektrycznej. Gdy uwzględnimy sprawność elektrowni dostarczającej energię elektryczną, która kształtuje się w granicach 30%÷40%, to nawet przy korzystnym współczynniku COP równym 4, wynikowy efekt energetyczny jest niewielki i w odniesieniu do całkowitej energii paliwa zużytego w elektrowni wyniesie $0,3 \times 4 = 1,2$. Zaledwie 20% dodatni bilans już na wstępie powinien zdecydować o braku opłacalności tego rodzaju instalacji, jednak COP jest obliczany bez uwzględnienia strat produkcji energii elektrycznej. Jeszcze mniej korzystnie wygląda bilans energetyczny z zastosowaniem pompy ciepła dla której dolnym źródłem jest powietrze atmosferyczne (powietrzne pompy ciepła). Załóżmy, że inwestor zakupił powietrzną pompę ciepła i podczas mroźnych dni uzyskuje na pompie ciepła maksymalnie $COP=2$. Oznacza to, że każda kilowatogodzina energii grzewczej wymaga 0,5 kWh energii elektrycznej do napędu sprężarki pompy ciepła. Sprawność ogólna takiej instalacji, w odniesieniu do energii całkowitej paliwa, które zostało zużyte w elektrowni, biorąc pod uwagę sprawność elektrowni rzędu 0,35 wyniesie:

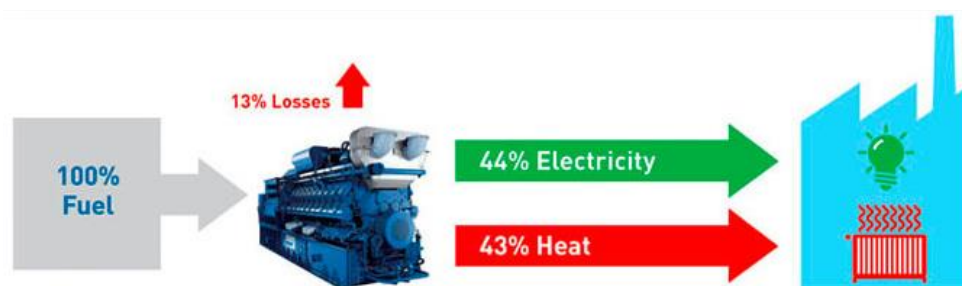
$$\eta = 0,35 \times 2 = 0,7$$

Oznacza to, że gdyby inwestor ogrzewał swój dom wysokosprawnym piecem węglowym, mógłby osiągać podobny lub nawet lepszy wynik sprawności przetwarzania energii, a jedyną korzyścią byłoby odsunięcie miejsca emisji z terenu posesji inwestora do oddalonej elektrowni.

Przy współczynniku $COP=4$ każdy megawat energii cieplnej wymaga 250 kilowatów energii elektrycznej. Jeśli energia ta pochodzi z sieci, to w całkowitej efektywności instalacji pompy ciepła należałoby uwzględnić sprawność elektrowni na poziomie 0,35, co skutkuje wynikowym COP_w rzędu:

$$COP_w = 4 \times 0,35 = 1,4$$

Zastosowanie skojarzonego układu kogeneracji i pompy ciepła o wydajnym i efektywnym źródle dolnym jest opcją, mającą na celu uzyskanie korzystnego bilansu energetycznego całej instalacji. W układach agregatowych typu silnik-generator około 60% dostarczonej w paliwie energii pozostaje niewykorzystane jako tak zwane ciepło odpadowe, emitowane do otoczenia poprzez chłodnicę silnika, chłodnicę oleju smarowego oraz w postaci gazów spalinowych. Powstające w układzie ciepło może być odzyskiwane w dwóch postaciach. Około połowy ciepła możliwego do uzyskania w procesie kogeneracji zawarta jest w spalinach o temp. 450°C. Drugą część ciepła, przez układ wymienników uzyskuje się z układów chłodzenia. W standardowych generatorach kogeneracyjnych całość odzyskiwanego ciepła wysoko i niskotemperaturowego połączona jest w jeden układ grzewczy o parametrach wody gorącej 70-90°C. Dzięki maksymalizacji wykorzystania paliwa do jednoczesnej produkcji energii elektrycznej i cieplnej oraz minimalizacji strat uzyskuje się sprawność rzędu 80-85%. Na rysunku 2 pokazano przykładowy udział energii elektrycznej i cieplnej produkowanej w systemie kogeneracji.



Rys.2. Wykorzystanie energii paliwa przez kogenerację energii elektrycznej i cieplnej [Internet]

Przy zastosowaniu układu kogeneracji, którego łączna sprawność osiąga ponad 80% i pompy ciepła o współczynniku $COP = 4$, można mówić o wynikowym współczynniku COP_{wk} rzędu:

$$COP_{wk} = 4 \times 0,85 = 3,4$$

Jak można zauważyć, przewidywana efektywność energetyczna wytwarzania ciepła przez zintegrowany układ pompy ciepła i kogeneratora w porównaniu do efektywności pompy zasilanej energią elektryczną z sieci będzie znacznie większa, co można wyrazić poniższym współczynnikiem wielokrotności :

$$n = 3,4 : 1,4 = 2,42$$

Aby zapewnić współczynnik COP na poziomie co najmniej 4, należy zapewnić właściwe parametry źródła dolnego, a takim źródłem z pewnością może być podziemie kopalni lub woda wypompowywana z podziemia kopalni. Należy mieć na uwadze, że wysokosprawny układ kogeneracji oferowany dotychczas przez firmy zagraniczne wiąże się z dużym kosztem zakupu, co jest podyktowane produkcją jednostkową i zaawansowanymi technologiami odzysku ciepła. Jest wysoce prawdopodobnym, że zastosowanie układu Kogeneracji zaprojektowanego w ITG KOMAG, przy nieznacznym obniżeniu sprawności odzysku ciepła z silnika spowoduje znaczące obniżenie kosztu ko-generatora, akceptowalnego w całości przyszłego przedsięwzięcia.

3. Zasoby geotermiczne podziemi kopalń w Polsce

Kopalnia może pozostać użyteczna także po zaprzestaniu eksploatacji węgla, jednak plany wykorzystania jej walorów poeksploatacyjnych należy przygotować możliwie wcześniej. Jednym z najcenniejszych walorów kopalń węgla kamiennego są zasoby energii cieplnej (geotermicznej) zawartej w wodach, skałach i powietrzu wentylacyjnym.

W czynnych kopalniach powietrze, woda i skały schładzane są o przeszło 10°C na skutek grawitacyjnego dopływu wód z płytszych poziomów wodonośnych oraz pod wpływem działania systemów wentylacyjnych. Natomiast w kopalniach likwidowanych, po zaniku przepływu powietrza wentylacyjnego, temperatura ośrodka ulega podwyższeniu stosownie do stopnia geotermicznego, a temperatury górotworu już od głębokości 700 m sięgają 35, 45°C.

Temperatura górotworu na głębokości kilkuset metrów w podziemiach kopalń jest niezależna od zmian zachodzących na powierzchni wraz z kolejnymi porami roku, co w aspekcie zagospodarowania ciepła w celach grzewczych jest bardzo korzystne. Temperatura pierwotna skał w kopalniach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego jest bardzo zróżnicowana, a stopień geotermiczny na tym obszarze wynosi 32,5 m/°C i waha się od 26 m/°C w rejonie Rudy Śląskiej do około 42 m/°C w kopalniach nadwiślańskich [2]. Najwyższe temperatury występują we wschodniej części Spółki Jastrzębskiej.

W kopalni Pniówek na poziomie 750 m temperatura skał górotworu przekracza 50°C, podczas gdy w kopalni Piast na poziomie 750 m wynosi 29°C. Według badań GIG średnie temperatury pierwotne skał dla różnych głębokości zawierają się przedziałach:

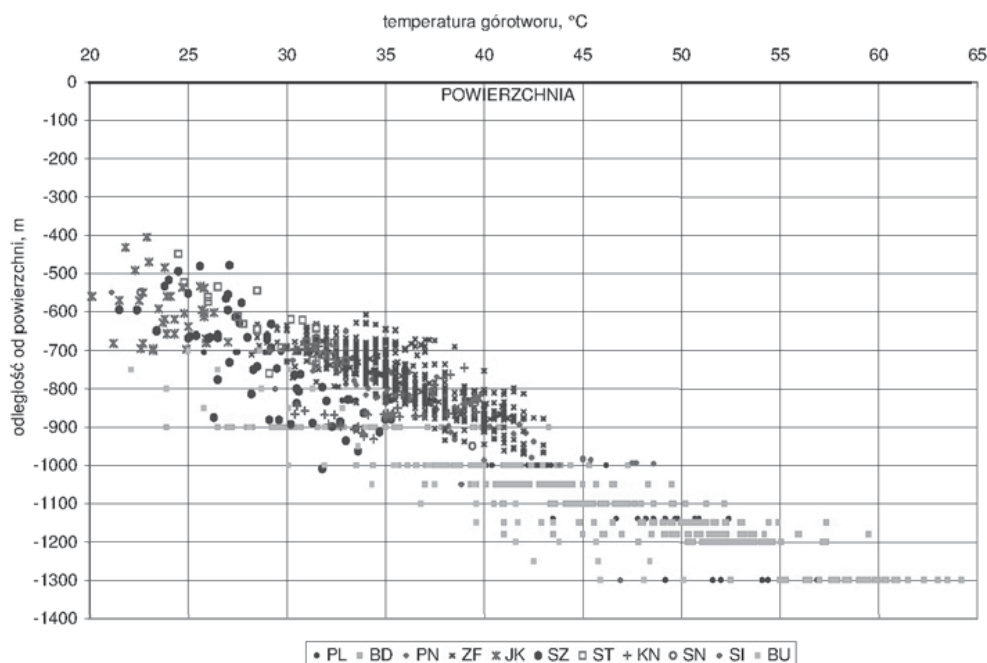
od 16°C do 32°C – na głębokości 250 m

od 20°C do 42°C – na głębokości 500 m

od 24°C do 52°C – na głębokości 750 m

od 28°C do 63°C – na głębokości 1000 m

Na rysunku 1 zilustrowano rozkład temperaturowy skał górotworu w zależności od głębokości.



Rys.3. Rozkład temperaturowy skał w zależności od głębokości [2]

W rejonach prowadzenia robót eksploatacyjnych i przygotowawczych występują miejsca (ściany, przodki, chodniki przyścianowe), gdzie temperatura pierwotna skał wynosi około 44°C. Na świecie oraz w Polsce prowadzone są badania mające na celu wykorzystanie ciepła pochodzącego z wnętrza ziemi w celach grzewczych. Kopalnie węgla są obiektami o wielorakich możliwościach użyteczności, zmieniającymi się stopniowo wraz ze zmianą ich funkcji podstawowej – czyli źródła węgla i pracy górniczej.

4. Sposoby zagospodarowania ciepła górotworu likwidowanych kopalń

Istnieją dwa sposoby zagospodarowania ciepła z podziemia kopalni. Pierwszy sposób polega na wykorzystaniu ciepła z wody ogrzanej w podziemiu, dostępnej po jej wypompowaniu na powierzchnię, przy czym pompowanie wody z reguły jest realizowane z przyczyn niezależnych od instalowanych pomp ciepła, głównie w celu ochrony czynnych, sąsiadujących kopalń przed zalaniem. Po przechwyceniu ciepła, wodę odprowadza się do kanału lub rzeki. Taki sposób przechwytywania ciepła nazywa się systemem otwartej pętli [1].

Drugi system określany jest terminem zamkniętej pętli i jest on technicznie bardziej złożony, ponieważ wymaga większych nakładów inwestycyjnych. Woda nie jest wypompowywana z podziemia, a ciepło z wody przechwytuje się poprzez dołowe wymienniki ciepła zanurzone w wodzie. Obecnie system ten jest bardzo rzadko wykorzystywany i ma zastosowanie głównie tam, gdzie woda kopalniana jest zanieczyszczona, lub gdy jej ilość jest niewystarczająca do zasilania pompy ciepła w systemie pętli otwartej [1].

Przykładami zrealizowanych instalacji odzysku ciepła [1] w systemie otwartej pętli są instalacje w Hiszpanii, gdzie system geotermalny został z powodzeniem wdrożony na terenie kampusu z Uniwersytetu w Oviedo. Ogrzewane są dwa budynki o łącznej powierzchni ponad 57000 m². Korzystnym aspektem tej lokalizacji jest nieduża odległość budynków od miejsca zrzutu wypompowywanej wody, która wynosi zaledwie 250 m, co obniża koszt transportu ciepła oraz straty przesyłu. Woda kopalniana zasila pompę ciepła pośrednio, ogrzewając czystą

wodę krążącą w obiegu zamkniętym w przewodach polipropylenowych. Woda czysta jest podgrzewana przez wodę wypompowywaną od 7°C do 14°C, po czym przepływając przez pompę ciepła na wyjściu ponownie uzyskuje 7°C i cykl powtarza się. Moc grzewcza instalacji wynosi 3,6 MW. Druga co do wielkości instalacja zrealizowana na bazie opuszczonej kopalni znajduje się również w rejonie Oviedo i jest wykorzystywana do ogrzewania pomieszczeń szpitalnych o powierzchni 27000 m².

Inne zrealizowane instalacje otwartej pętli [1] mają zdecydowanie mniejsze moce. Przykładowo w 2006 roku w mieście Marienberg (Niemcy), zrealizowano instalację typu otwartej pętli, sięgając do wody kopalnianej o temperaturze 12,4°C, na głębokości 107 m. Woda jest pompowana przez trzy pompy głębinowe o mocy 120 kW o łącznej wydajności 120 m³/h. Woda w procesie przekazywania ciepła jest schładzana do temperatury 5°C. Moc grzewcza tej instalacji wynosi 310 kW.

System zamkniętej pętli ma dotychczas bardzo ograniczone zastosowanie z powodu dostępności wody wypompowywanej z podziemi na powierzchnię i większego kosztu realizacji instalacji typu zamkniętej pętli. Przykładem jest instalacja w mieście Folldal w Norwegii. Pompa ciepła została zastosowana do ogrzewania komory na głębokości 125 m w kopalni, gdzie znajduje się muzeum górnictwa. Zdecydowano się na takie rozwiązanie z powodu silnego zanieczyszczenia wody siarczkami, dlatego czysta woda w obiegu zamkniętym odbiera ciepło od wody zasiarczonej. Woda na tej głębokości ma zaledwie 6°C, ale instalacja pozwala ogrzać komorę o kubaturze 1600 m³. Woda grzewcza ma zaledwie 22°C, a moc grzewcza instalacji wynosi 18 kW [1].

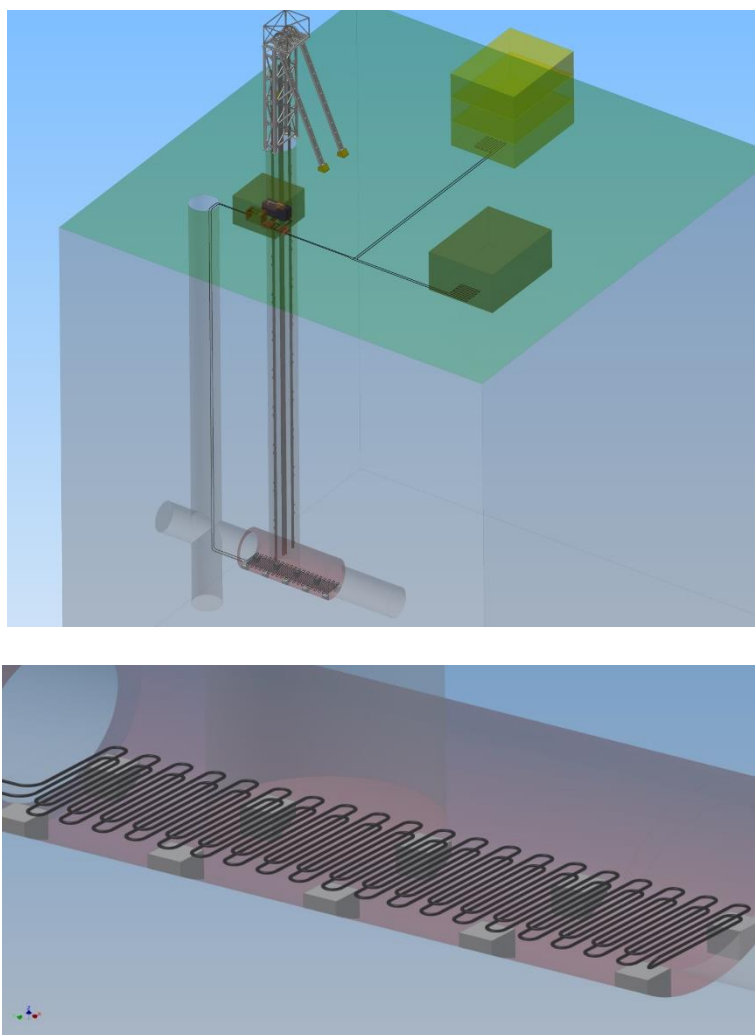
Przeprowadzona analiza wykazała, że instalacje wykorzystujące ciepło wyrobisk podziemnych są bardzo zróżnicowane w aspekcie zastosowanych rozwiązań technicznych i mocy grzewczych, przy czym w większości są to niewielkie moce rzędu kilkudziesięciu kilowatów a technologia typu otwartej pętli jest dominująca.

5. Koncepcja zagospodarowania ciepła za pomocą podziemnego wymiennika ciepła oraz zintegrowanego układu ko-generatora i pompy ciepła

W ITG KOMAG w 2016 r. zrealizowano prace koncepcyjne [3] związane z zagospodarowaniem ciepła z podziemi likwidowanych kopalń, czego efektem jest zgłoszony do RFCS projekt o akronimie ENCOHEAT. Według założeń projektowych, na obecnym etapie zakłada się transferowanie ciepła z wyrobisk kopalnianych na powierzchnię za pomocą wody, kierowanej do podziemnych wymienników ciepła, zainstalowanych w poziomych wyrobiskach górniczych, co odpowiada sposobowi zamkniętej pętli. Wizualizację wymiennika ciepła oraz instalacji powierzchniowej przedstawiono na rysunku 4.

Koncepcja dotyczy głównie zagospodarowania ciepła z kopalń przeznaczonych do zalania, gdzie nie wypompowuje się wody. Zabudowa wymiennika ciepła powinna być zrealizowana przed zamknięciem kopalni. Przepływ w systemie wymiennikowym powinien odbywać się w obiegu zamkniętym z pompą zlokalizowaną na powierzchni. Zagospodarowanie wydzielonej części wyrobiska poziomego o odpowiednio dobranej długości powinno zapewnić wymaganą moc cieplną dolnego źródła pompy ciepła dla określonej mocy instalacji. W wyrobisku będzie zabudowany rurowy wymiennik ciepła, pobierający energię cieplną z otaczających skał za pośrednictwem wody wypełniającej to wyrobisko. Wymiennik ciepła powinien być

bezobsługowy, a jego trwałość obliczona na minimum 30 lat. Wymiennik będzie zabudowany na wspornikach, na wysokości 0,5 m od spągu, w formie dwupoziomowej węzownicy o „fali” poprzecznej do osi wyrobiska. Takie rozwiązanie pozwoli na znaczne upodatkowanie stalowych rur wymiennika, niezbędne w sytuacji wypiętrzania i deformacji spągu. W początkowym okresie eksploatacji wymiennika, gdy wyrobisko nie będzie jeszcze zalane w sposób naturalny, przewiduje się otamowanie wyrobiska, gdzie zabudowano wymiennik i jego częściowe zalanie przez celowe skierowanie dostępnej w podziemiu wody do strefy wymiennika.

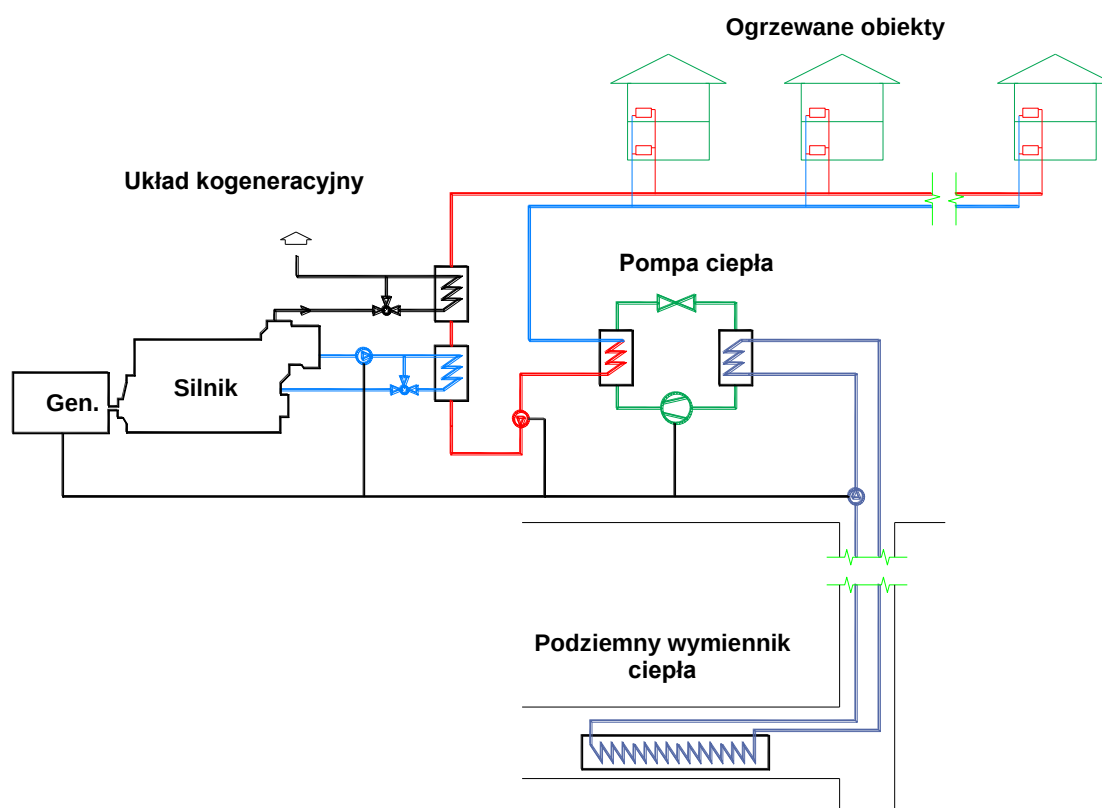


Rys.4. Wizualizacja instalacji zagospodarowania ciepła oraz podziemnego wymiennika ciepła [4]

Część powierzchniowa systemu, będzie zbudowana w oparciu o pompę ciepła, skojarzoną z silnikowym układem kogeneracji, w celu osiągnięcia dużej efektywności energetycznej instalacji. Energia cieplna będzie wykorzystywana do ogrzewania obiektów położonych nieopodal tego rodzaju instalacji, jak budynki mieszkalne, handlowe, i inne budynki użyteczności publicznej. Układ kogeneracji w powiązaniu z pompą ciepła pozwoli na uzyskanie korzystnego wynikowego bilansu energetycznego. Pozwoli na uzyskanie ponad dwukrotnie większej efektywności energetycznej w porównaniu do instalacji bez ko-generatora. Wynika to

z maksymalnego wykorzystania energii paliwa użytego w kogeneratorze do wytworzenia energii elektrycznej i ciepłej. Korzystnym aspektem tak skojarzonego układu jest zastosowanie ciepła wytwarzanego przez ko-generator do podniesienia temperatury czynnika grzewczego dostarczanego przez pompę ciepła. W związku z tym pompa ciepła nie będzie pracowała przy mniejszej różnicy temperatur źródła dolnego i górnego, co z kolei skutkuje polepszeniem współczynnika COP. Na rysunku 5 pokazano schemat instalacji według proponowanej koncepcji.

Koncepcja zakłada wytwarzanie wody grzewczej o temperaturze około 60°C, co powinno zapewnić możliwość zasilania obiektów, w których dotychczas stosowane są grzejniki konwekcyjne. Dzięki temu inwestycja może być łatwiej akceptowana przez docelowych użytkowników końcowych, nie narażając ich na koszt związany z przebudową konwencjonalnego systemu grzewczego na ogrzewanie typu podłogowego.



Rys.5. Schemat systemu zagospodarowania ciepła z podziemia kopalni [3]

6. Wnioski

1. Istnieją realne przesłanki do zagospodarowania ciepła podziemi kopalń za pomocą podziemnych wymienników ciepła oraz skojarzonych układów pompy ciepła i kogeneracji. Instalacja odzysku ciepła, na bazie pompy ciepła skojarzonej z układem kogeneracji byłaby bardzo korzystna energetycznie, jak również korzystna w aspekcie ograniczenia redukcji emisji CO₂.

2. Proponowana część powierzchniowa systemu złożona z pompy ciepła oraz ko-generatora będzie mogła mieć zastosowanie również w przypadku zagospodarowania ciepła z wody wypompowywanej na powierzchnię.
3. W przypadku instalacji dużej mocy, przy zasilaniu pompy ciepła sieciąową energią elektryczną, instalacja byłaby nieuzasadniona, z uwagi na konieczność kalkulowania w bilansie energetycznym sprawności wytwarzania prądu w elektrowni $\eta = 0,3 \div 0,4$, a z uwagi na brak możliwości zwiększenia temperatury wody grzewczej ciepłem ko-generatora, pompa pracowałaby przy niższym współczynniku COP.
4. Duże koszty instalacji kogeneracyjnych oferowane przez firmy zagraniczne są związane z nowością produktową i ograniczonymi seriami produktowymi. Mogą mieć one wpływ na ograniczoną opłacalność niewielkich instalacji. W przypadku dużych mocy, powyżej 1 MW, instalacje powinny być dedykowane do konkretnych zastosowań oraz opłacalne w rozrachunku całego przedsięwzięcia.
5. Podziemne wymienniki ciepła będą wymagały konstrukcji przystosowanej do długiego okresu eksploatacji bez serwisowania z uwagi na niedostępność wyrobisk po zamknięciu kopalni. Będzie to związane z dodatkowym zabezpieczeniem wyrobisk, gdzie wymienniki będą instalowane oraz specjalnej konstrukcji wymiennika. Ten aspekt może się również przyczynić do obniżenia opłacalności całej instalacji.
6. Aspekty kosztowe instalacji, powinny być dokładnie skalkulowane w perspektywie zakładanej około 30 letniego okresu eksploatacji. Wnioskowany do funduszu RFCS projekt ENCOHEAT zakłada w końcowym etapie przeprowadzenie szczegółowych analiz techniczno-ekonomicznych dokumentacji technicznych instalacji opracowanych dla trzech użytkowników końcowych. W przypadku uzyskania pozytywnych wyników analiz prace będą kontynuowane w celu wdrożenia instalacji w wybranych miejscach lokalizacji.

Literatura

1. Esmeralda Peralta Ramos, Katrin Breede, Gioia Falcone Geothermal heat recovery from abandoned mines: a systematic review of projects implemented worldwide and a methodology for screening new projects, opublikowana online 22 Marzec 2015 Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015.
2. Szlązak N.: Prognozowanie zagrożenia klimatycznego w wyrobiskach górniczych. Wydawnictwo GIG, Górnictwo i Geoinżynieria, Rok 35, Zeszyt 4, 2011 r.
3. Drwięga A.: Environmental friendly installations for utilization of heat from mine undergrounds, reducing the CO₂ emission – ENCOHEAT, projekt złożony do RFCS, 15 wrzesień 2016.
4. Drwięga A., Kulesza K., Hupa B., Szkudlarek Z.: Koncepcja odzyskiwania energii cieplnej z podziemnych wyrobisk górniczych, praca statutowa ITG KOMAG, etap OR, kwiecień 2016.

Wyniki badań stanowiskowych innowacyjnego systemu posuwu Flextrack

Krzysztof Kotwica - AGH w Krakowie

Piotr Gospodarczyk - AGH w Krakowie

Paweł Mendiya - AGH w Krakowie

Grzegorz Stopka - AGH w Krakowie

Edward Pieczora - ITG KOMAG

Streszczenie: W rozdziale przedstawiono wyniki badań stanowiskowych innowacyjnego systemu posuwu kombajnów ścianowych Flextrack. Badania przeprowadzono jako porównawcze ze standardowym systemem posuwu kombajnów ścianowych Eicotrack. Opisano skrótnie budowę stanowiska oraz opracowaną metodykę badawczą. Badania wykonano w warunkach jak najbardziej zbliżonych do rzeczywistych, panujących w wyrobiskach ścianowych. Zaprezentowano wyniki badań prawidłowości współpracy kół trakowych z elementami systemu standardowego posuwu Eicotrack oraz innowacyjnego układu posuwu Flextrack dla różnej konfiguracji trasy przenośnika i obciążenia kombajnu. Przedstawiono także wyniki uzyskane podczas pomiarów kamerą termowizyjną temperatury badanych systemów, pomiarów odkształcenia z wykorzystaniem czujników światłowodowych z siatką Bragg'a oraz badania zużycia kół trakowych dla badanych systemów posuwu oraz segmentów zębatek Flextrack.

The results of stand tests of innovative Flextrack propulsion system

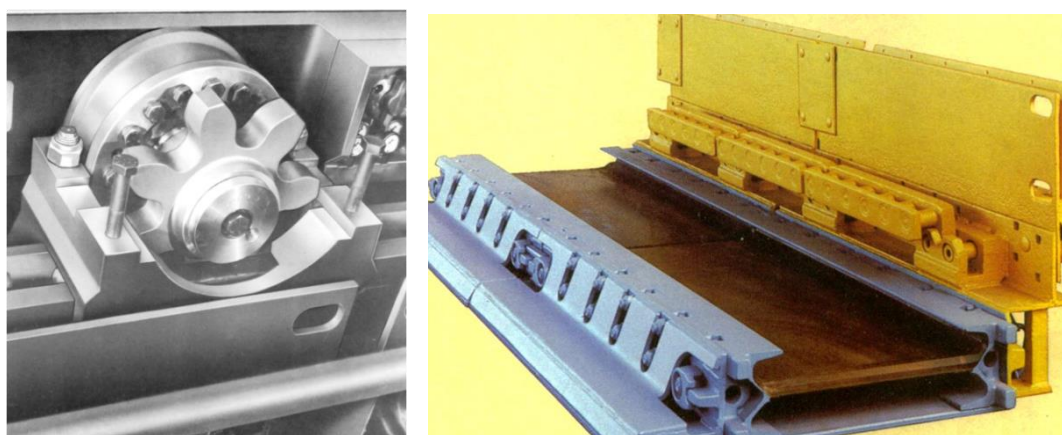
Summary: The chapter presents the results of stand tests of innovative long wall shearer propulsion system Flextrack. The study was conducted as a comparative with classical Eicotrack long wall shearer propulsion system. The chapter briefly describes the construction of test stand and developed research methodology. The study was performed in conditions as close as possible to the actual conditions in longwall working environment. The results of cooperation studies correctness between track wheels for classical Eicotrack system elements, as well as Flextrack innovative system elements, for different configurations of the conveyor track and the load of the shearer were presented. There were presented also the results obtained during the temperature measurement using thermal imaging camera, strain measurement using optical fiber sensors with Bragg grid and wear measurement of track wheels for the tested propulsion systems as well as Flextrack rack segments.

1. Wstęp

Obecnie w podziemnych kopalniach węgla kamiennego w Polsce eksploatacja węgla kamiennego prowadzona jest systemem ścianowym, w którym powszechnie stosowane są kombajny węglowe wyposażone głównie w bezciągnowy system posuwu typu Eicotrack. Przemieszczanie się kombajnu po trasie ścianowego przenośnika zgrzeblowego odbywa się poprzez zazębienie kół napędowych układu posuwu kombajnu (ciągników) z elementami drabinek zabudowanych poziomo w zastawce przenośnika. Drabinki te mocowane są sworzniami w sposób sztywny do wsporników zastawek przenośnika. Koła napędowe ciągników umieszczone pionowo zazębiają się z drabinkami, powodując ruch kombajnu

wzdłuż przenośnika. Widok jednego z kół trakowych i elementów drabinek zabudowanych na przenośniku ścianowym, stosowanych przez Firmę Eickhoff pokazano na rysunku 1 [4].

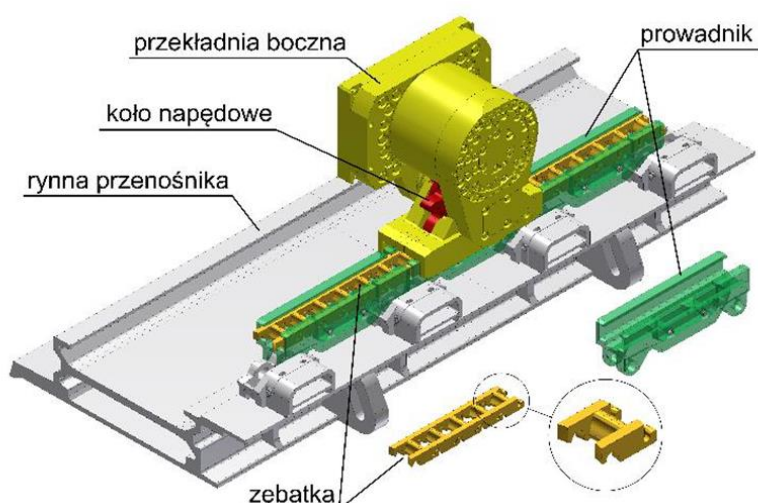
Sztywne mocowanie drabinek systemu Eicotrack i wymuszone przez przewodnik prowadzenie kół napędowych po drabince prowadzi do szybkiego zużywania się tych kół i ich częstych wymian. Stwarza to przestoje w wydobywaniu, wzrost kosztów produkcji i obniżenie wyniku ekonomicznego. Dla ograniczenia lub zmniejszenia tego problemu, w ramach realizowanego wspólnie przez ITG KOMAG w Gliwicach, AGH Kraków, Instytut Odlewnictwa w Krakowie i firmę SPECODLEW Sp. z o.o. projektu pt. „Innowacyjny system posuwu maszyny wydobywczej podnoszący efektywność wydobywania oraz bezpieczeństwa pracy w kompleksach ścianowych”, zaproponowano opracowanie, wykonanie i przebadanie nowego innowacyjnego systemu posuwu Flextrack.



Rys. 1. Idea pracy systemu posuwu Eicotrack Firmy Eickhoff [4]

Wyniki prac uzyskanych podczas realizacji pierwszej części ww. projektu przedstawiono obszernie już wcześniej na konferencjach KOMTECH w publikacjach [1, 2, 3, 5 i 7]. Dlatego poniżej ograniczono się tylko do zamieszczenia podstawowych informacji o tym systemie.

System posuwu Flextrack składa się z zębatego prowadnika, po którym ślizga się płoza kombajnu. Koło napędowe ciągnika kombajnu współpracuje z zębatego prowadnika, przemieszczając się po nim i przemieszczając kombajn po trasie przenośnika. Zębatego prowadnika składa się z pojedynczych segmentów, z których każdy zawiera tylko jeden ząb i dwie symetryczne względem osi wzdłużnej ściany boczne. Segmenty zębatego prowadnika posiadają możliwość elastycznej, poprzecznej oraz wzdłużnej współpracy ograniczonej konstrukcyjnie prowadnikiem, w którym się je montuje, wystarczającej do pokonywania przegięć trasy przenośnika występujących podczas eksploatacji w wyrobisku ścianowym. Ideę pracy systemu posuwu Flextrack przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Idea pracy systemu posuwu Flextrack [6]

W ramach wcześniejszych prac realizowanych w projekcie zaproponowano zastosowanie zębatek o podziale 126 mm oraz wytypowano i zweryfikowano poprzez analizy komputerowe i badania laboratoryjne różne rozwiązania konstrukcyjne i materiałowe zarówno segmentów zębatek, jak i prowadników. Spośród przebadanych sześciu stopów (trzy z żeliwa sferoidalnego hartowanego z przemianą izotermiczną – stop 1, 2, 3 oraz trzy ze staliwa wysokostopowego ulepszanego cieplnie – stop 4, 5, 6) do realizacji partii eksperymentalnej zaproponowano wykonanie segmentów zębatek metodą odlewania precyzyjnego ze stopu 4 i 6 a prowadników ze stopu 4 przy wykorzystaniu piaskowej technologii formy. Wykonano po 50 sztuk segmentów zębatek z obu rodzajów staliwa oraz 16 sztuk prowadników. Elementy te wymagały przeprowadzenia badań stanowiskowych oraz porównania ich działania ze standardowym systemem posuwu Eicotrack. W tym celu opracowano we współpracy z firmą KOPEX Machinery w Zabrze stanowisko badawcze, jak najlepiej odzwierciedlające warunki panujące na ścianie węglowej i umożliwiające przeprowadzenie badań porównawczych standardowego układu posuwu Eicotrack z innowacyjnym układem Flextrack w zakresie efektywności, wrażliwości i niezawodności działania tych układów. Zostało ono wykonane w dwóch wersjach dla przeprowadzenia oddzielnie prób efektywności współpracy oraz badań trwałości kół trakowych i elementów badanego układu posuwu. Stanowisko to oraz metodologia badań zostało przedstawione szczegółowo na Konferencji KOMTECH 2015 dlatego poniżej zamieszczono tylko najważniejsze informacje.

W skład stanowiska wchodziła trasa złożona z 9 segmentów rynnociągu przenośnika zgrzeblowego, wyposażonego w standardowy bezciągowy system posuwu Eicotrack o podziale 126 mm. Po trasie przemieszczał się korpus kombajnu ścianowego typu KSW-460NE dostosowany do współpracy z rynnociągami i ww. systemem posuwu Eicotrack. Do nieparzystych segmentów rynnociągu dołączono belki układu przesuwnej obudowy ścianowej zmechanizowanej. W zaproponowanym rozwiązaniu stanowiska, w przypadku badań trwałościowych elementów układu posuwu do kadłuba kombajnu zostaną zamocowane za pomocą sztywnych blokad i łączników dwie pary siłowników o zwiększonym skoku. Widok stanowiska badawczego w tej wersji przedstawiono na rysunku 3 [6].



Rys. 3. Widok stanowiska badawczego do badania systemów posuwu kombajnów ścianowych gotowego do badań [6]

W wersji do badań efektywności współpracy kół trakowych i elementów badanych układów wykorzystywana była tylko jedna para siłowników, połączona ze sobą łącznikiem natomiast siłowniki połączone były z kombajnem za pomocą szekli. Pozwalało to na wyginanie się trasy przenośnika w poziomie, jak również w pionie. Wypływ oleju z przestrzeni podtłokowych siłowników był dławiony z wykorzystaniem regulatorów ciśnienia zabudowanych w bloku obciążającym, natomiast wypływ przestrzeni nadtłokowych siłowników był bezpośrednio do zbiornika. Pozwoliło to na wygenerowanie obciążenia kombajnu siłą oporu do 250 kN tylko przy wysuwaniu się tłoczków siłowników. W drodze powrotnej siłowniki były zsuwane do pozycji wyjściowej bez dławienia.

Na stanowisku, zgodnie z opracowaną metodyką dokonano kompletacji niezbędnych czujników pomiarowych oraz aparatury badawczej i wykonano w pierwszej części badania układu posuwu Flextrack, a po ich zakończeniu – w drugiej części w ten sam sposób badania dla układu posuwu Eicotrack. Dla każdej części badań zaplanowano przeprowadzenie w pierwszej fazie badań efektywności współpracy na trasie prostoliniowej przenośnika, a następnie na trasie zakrzywionej kolejno w poziomie oraz w pionie, bez oraz z obciążeniem kombajnu. W przypadku układu posuwu Flextrack na trasie przenośnika zabudowano do połowy trasy, z jej lewej strony (patrząc od strony „zawału”) segmenty zębatego wykonane ze stopu 4, natomiast z prawej strony zabudowano segmenty zębatego wykonane ze stopu 6. Dla systemu Flextrack w końcowej fazie badań zostały także przeprowadzone próby po trasie zasypanej urobkiem. W trzeciej fazie zaplanowano wykonanie, dla porównywalnej drogi przejazdu kombajnu po badanym systemie posuwu i porównywalnych warunków jego pracy, badania zużycia elementów posuwu (głównie kół trakowych oraz segmentów zębatego Flextrack) dla badanych systemów posuwu.

Podczas pierwszej fazy badań wizualnie oceniano poprawność współpracy kół trakowych z badanymi układami posuwu, prowadzono rejestrację wideo wybranych przejazdów dla określonych parametrów pracy, termograficzną obserwację z wykorzystaniem kamery termowizyjnej elementów układu systemu posuwu przed i po przejeździe kół trakowych, pomiar drgań układu mobilnego podczas przejazdów dla określonych parametrów pracy,

pomiar wartości ciśnienia w siłownikach stabilizujących trasę przenośnika i generujących obciążenie kombajnu oraz pomiar odkształceń, a pośrednio naprężeń w wybranych elementach badanych systemów posuwu z wykorzystaniem czujników optoelektrycznych światłowodowych z siatką Bragge'a.

W trzeciej fazie zaplanowano badanie przebiegu i intensywności zużywania się kół trakowych współpracujących z obydwoma systemami posuwu, a także dla układu Flextrack badania zużycia elementów biernych (segmentów zębatek). Badania były wykonane dla porównywalnego czasu pracy obydwu systemów posuwu. Poza obserwacją współpracujących elementów przeprowadzono skanowania 3D elementów współpracujących – każdej pary kół trakowych oraz wybranych segmentów zębatek układu posuwu Flextrack.

Przed przystąpieniem do badań na stanowisku przeprowadzono rozruch wstępny, który pozwolił na sprawdzenie poprawności działania aparatury pomiarowej oraz umożliwił usunięcie ewentualnych nieprawidłowości w działaniu stanowiska. Widok stanowiska podczas prób rozruchowych pokazano na rysunku 4.



Rys. 4. Widok stanowiska badawczego podczas prób rozruchowych [6]

Nie stwierdzono problemów z czujnikami i aparaturą pomiarową. W pierwszej części przejazd kombajnu po trasie przenośnika z zabudowanym systemem Flextrack odbywał się bez obciążenia, przy prędkości posuwu około 2,5 m/min. Nie zaobserwowano żadnych większych utrudnień, poza dość głośną pracą. Również przy zwiększeniu ciśnienia dławienia wypływu oleju z komór podtłokowych siłowników o wydłużonym skoku do wartości najpierw około 5 MPa, a następnie około 7,5 MPa (wartość siły oporu kolejno około 118 kN i 165 kN) nie zauważono większych problemów z pracą kombajnu i nowego systemu posuwu. Dopiero wzrost wartości ciśnienia dławienia powyżej 12 MPa spowodował pierwszy problem. Związany był on z podrywaniem ram wraz z blachą stalową, zamocowanych na końcach przenośnika, do których mocowane były cylindry siłowników. Siła oporu generowana w tym przypadku dochodziła do wartości około 300 kN. Zauważono także w jednym segmencie zębatego urwanie jednego z zaczepów w dolnej jej części oraz pęknięcie drugiego zaczepu. Widok uszkodzonego segmentu zębatego systemu posuwu Flextrack po przeprowadzeniu prób rozruchowych z zadaniem dużym oporem przemieszczania generowanym dwoma parami siłowników

o wydłużonym skoku pokazano na rysunku 5. Uszkodzony element został wymontowany a pozostałe segmenty zostały poddane oględzinom. Stwierdzono, że segmenty współpracują ze sobą z dużym luzem, dochodzącym nawet do 2 – 3 mm. Został on skasowany za pomocą siłownika do ściskania segmentów zębatego systemu posuwu Flextrack, natomiast uszkodzony element zębatego został wymieniony.



Rys. 5. Widok uszkodzonego segmentu zębatego systemu posuwu Flextrack [6]

Natomiast dla wyeliminowania podnoszenia w górę ramy do mocowania pary siłowników o wydłużonym skoku zaproponowano dociążenie tej ramy elementem wielkomasowym. Widok obciążnika o masie 5 ton stabilizującego ramę do mocowania siłowników o wydłużonym skoku przedstawiono na rysunku 6.



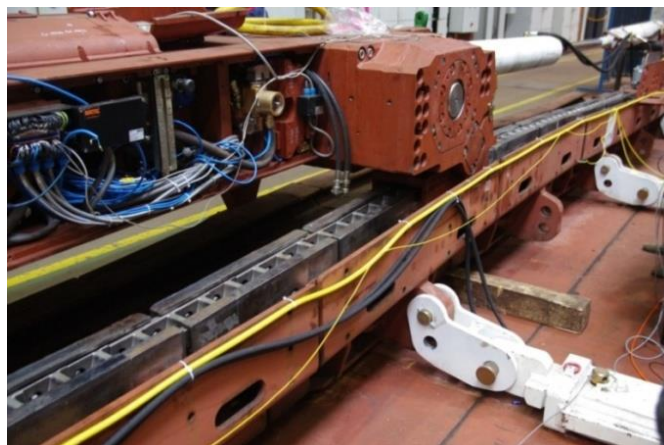
Rys. 6. Widok obciążnika o masie 5 ton stabilizującego ramę do mocowania pary siłowników o wydłużonym skoku [6]

Analizując natomiast pracę siłowników, generujących opór przemieszczania się kombajnu stwierdzono, że podłączenia przewodów hydraulicznych $\varnothing 20$ mm w siłownikach mają o wiele mniejszą średnicę $\varnothing 10$ mm. Powoduje to bardzo duże opory podczas wypływu oleju, zwłaszcza przy dużej prędkości posuwu kombajnu. Zaproponowano przeróbkę tych

siłowników i wykonanie dodatkowych gniazd przyłączeniowych o średnicy $\varnothing 20$ mm do podłączenia przewodów hydraulicznych $\varnothing 20$ mm, natomiast stare gniazda o średnicy $\varnothing 10$ mm zostały wykorzystane do podpięcia przetworników ciśnienia. Po wykonaniu koniecznych korekt i powtórnej próbie poprawności działania stanowiska przystąpiono do realizacji zaplanowanych badań.

2. Badania prawidłowości współpracy

Badania prawidłowości współpracy elementów systemu posuwu Eicotrack i Flextrack z kołami trakowymi kombajnu zrealizowano dla prostej trasy przenośnika oraz trasy wygiętej w pionie i w poziomie, przy przejeździe maszyny bez oraz z obciążeniem i porównywalnej wartości prędkości posuwu. Sprawdzano wpływ konfiguracji trasy przenośnika na siły reakcji w siłownikach stabilizujących trasę przenośnika, wartości odkształceń i naprężeń w wybranych elementach badanych układów posuwu oraz temperaturę współpracujących elementów układów posuwu i kół trakowych. Dla każdej konfiguracji parametrów pracy wykonywano minimum po trzy przejazdy maszyny – jazda tam i z powrotem na sumarycznej drodze około 24 metry. Widok stanowiska podczas jednej z takich prób przy badaniu systemu posuwu Flextrack przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Przejazd kombajnu w trakcie prób poprawności współpracy dla systemu Flextrack po trasie przenośnika przegiętej w pionie [6]

Sprawdzano również funkcjonalność poszczególnych systemów podczas badań zużycia. Dla systemu Flextrack, po wykonaniu około 600 przejazdów zauważono luzowanie śrub mocujących prowadniki z zębatką Flextrack na początku i końcu trasy przenośnika. Po dokręceniu poluzowanych śrub dokończono badania zużycia. Innym zauważonym mankamentem było występujące sporadycznie zjawisko unoszenia się w górę o kilka centymetrów rynien przenośnika w miejscu ich łączenia. Występowało ono tylko za ciągnikiem układu posuwu. Prawdopodobnie było to efektem ściskanej zębatki Flextrack, która generowała siłę podnoszącą rynny przenośnika. Nie wpływało to jednak na przebieg badań.

W przypadku badania elementów systemu Eicotrack zaraz na początku badań zużycia zaobserwowano, nawet przy minimalnym obciążeniu kombajnu, poważne problemy przemieszczania się kombajnu, szczególnie podczas przejazdów pomiędzy drabinkami. Koło

trakowe ciągnika „wspinało się” przy przejeździe z jednej drabinki na drugą a kombajn znacznie zwalniał lub nawet zatrzymywał się. Dopiero przy zwiększeniu prędkości posuwu kombajnu do około 2 m/min możliwe było jego przemieszczanie się po trasie przenośnika. Na przenośniku zamocowane były drabinki Eicotrack typ RFM 23909 125 produkcji RFM RYFAMA w Rybniku. Była to nowa wersja drabinki wykonanej dla współpracy z kombajnami firmy KOPEX Machinery. Dla porównania sprawdzono inną wersję drabinki Eicotrack, która była stosowana wcześniej. Obie wersje drabinek przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Porównanie dwóch rodzajów drabinek Eicotrack: u góry – nowiej, wykorzystanej do badań stanowiskowych, na dole – wcześniej stosowanej [6]

Zauważono drobne różnice konstrukcyjne, głównie w kształcie zęba drabinki. Wymontowano dwie „nowe” drabinki a w ich miejsce zamocowano dwie „stare”. Wykonano kilka przejazdów i podczas przejeżdżania pomiędzy badanymi „starymi” drabinkami nie zauważono wcześniej obserwowanych problemów (kombajn nie wspinał się i nie zatrzymywał). Jednak dostępna liczba „starych” drabinek nie pozwalała na ich wymianę na całej trasie, więc dalsze próby przeprowadzano na uprzednio zamontowanych drabinkach.

Problemy podczas przejazdów kombajnu były również przyczyną wystąpienia kilku awarii spowodowanych przeciążeniem układu posuwu kombajnu. W czasie badań nastąpiło trzykrotne zerwanie przeciążeniowego bezpiecznika mechanicznego w ciągniku układu posuwu. Nastąpiła również awaria łożyska tocznego prawego ciągnika układu posuwu. Pokazano to na rysunku 9.



Rys. 9. Problemy zauważone podczas badania systemu Eicotrack – trzykrotne zerwanie przeciążeniowego bezpiecznika mechanicznego i awaria łożyska tocznego [6]

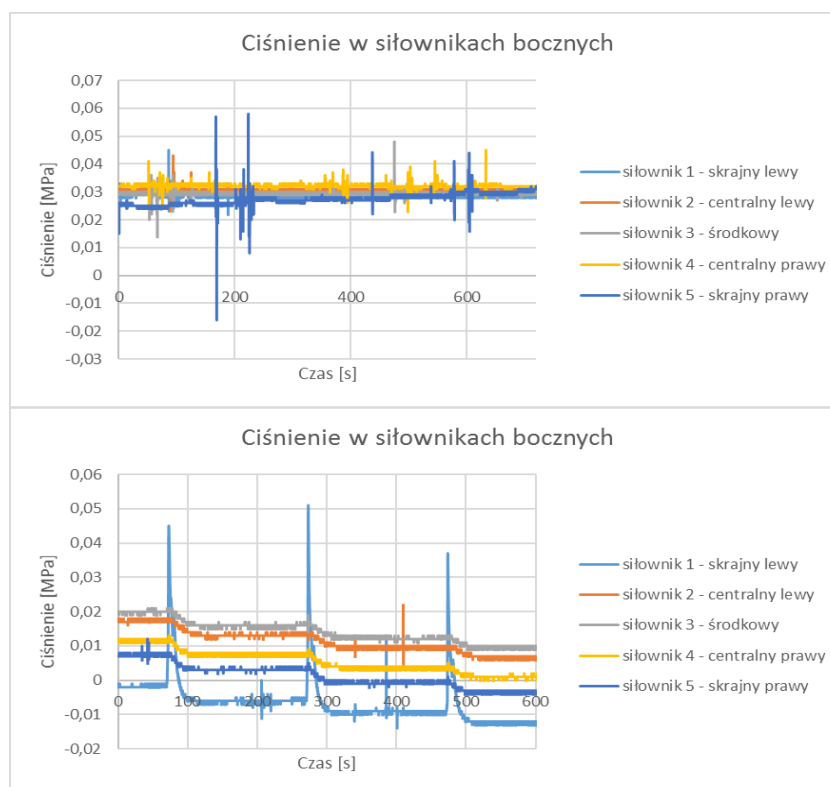
Podczas przeprowadzanych prób przy przemieszczaniu się kombajnu po trasie przenośnika generowany był bardzo uciążliwy dla obsługi stanowiska hałas (zgrzyty, piski itp.) o znacznym natężeniu. Przeprowadzone pomiary natężenia hałasu wykazały, że jego wartość dochodziła w przypadku systemu Flextrack do około 115 dB a w przypadku systemu Eicotrack momentami nawet 125 – 130 dB, przy dopuszczalnym natężeniu hałasu 85 dB.

2.1. Pomiary wartości sił w siłownikach oraz mocy pobieranej przez ciągniki posuwu

Wartości reakcji w siłownikach stabilizujących trasę przenośnika podczas prób były oszacowywane przez pomiar wartości ciśnienia. Mierzono także wartości ciśnień w siłownikach do generowania obciążenia tzw. oporowych. Natomiast w skrzyni aparaturowej kombajnu rejestrowano wartości mocy pobieranej przez ciągniki posuwu kombajnu. Pozwoliło to na porównanie obciążenia kombajnu i pobieranej przez niego mocy podczas prób obydwu systemów posuwu, podczas zarówno prób prawidłowości współpracy, jak i badań trwałościowych.

Przykładowe wyniki z przeprowadzonych pomiarów – wykresy wartości zarejestrowanego ciśnienia w siłownikach stabilizujących trasę przenośnika przedstawiono na rysunku 10. Zauważono niewielki wpływ na zmianę wartości ciśnienia w siłownikach do stabilizacji trasy przenośnika przy jego przegięciu w obu płaszczyznach, zdecydowanie jednak zmienność ta była bardziej widoczna w przypadku systemu Eicotrack. Średnie wartości ciśnienia w siłownikach wynosiły od 0,02 do 0,035 MPa, mniejsze wartości występowały w siłownikach zabudowanych z lewej strony przenośnika. Zmiany wartości ciśnienia przy prostej trasie przenośnika nie przekraczały 0,015 MPa, przy wygiętej w poziomie zmiana była większa i dla systemu Flextrack wynosiła około 0,03 MPa a dla systemu Eicotrack około 0,035 MPa.

Wartość ciśnienia w siłownikach oporowych była mierzona na zasilaniu i spływie. Różnica zarejestrowanych wartości ciśnień pozwalała na obliczenie wartości siły oporu generowanej przez jedną (badania efektywności współpracy) lub dwie pary (badania zużycia) siłowników o wydłużonym skoku. Przy zsuwie siłowniki pracowały bez dławienia i prawie generowały opory.

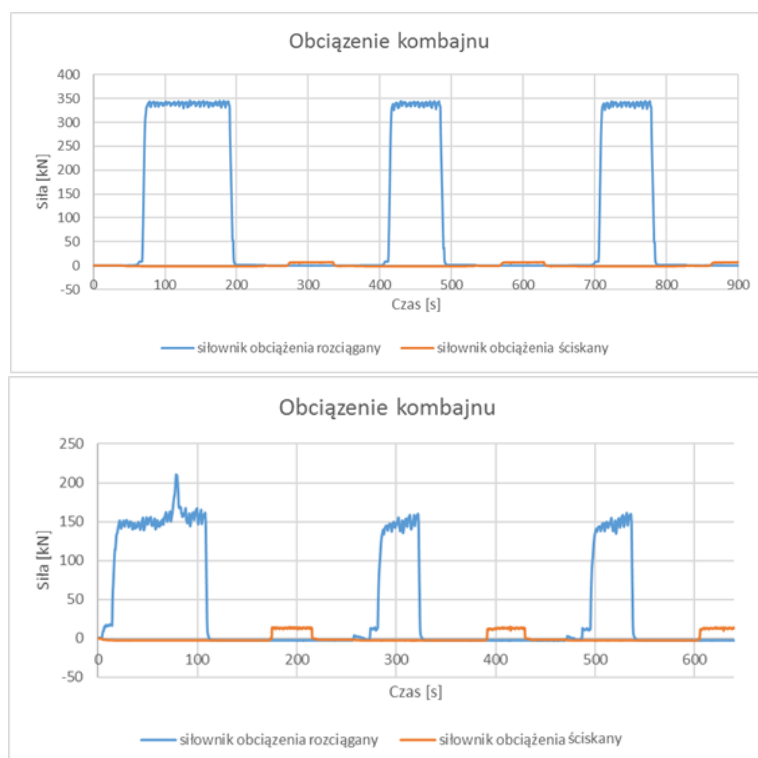


Rys. 10. Wartości ciśnienia w siłownikach do stabilizacji trasy przenośnika podczas jazdy maszyny z obciążeniem (trasa wygięta w pionie):
u góry - system posuwu Flextrack, na dole - system posuwu Eicotrack [6]

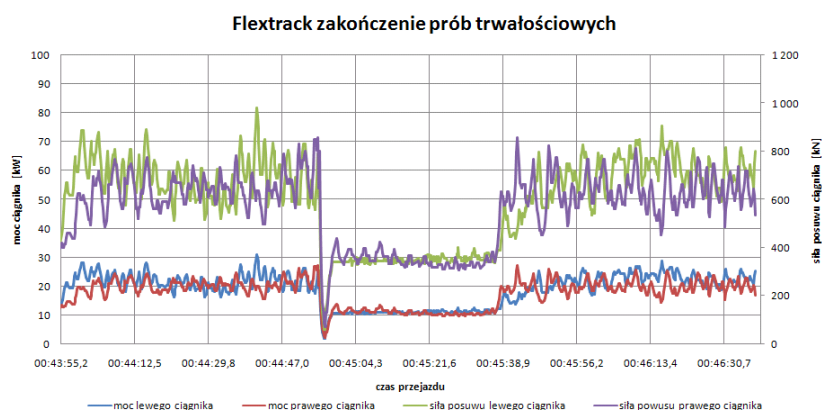
Przebieg obliczonej na podstawie zarejestrowanych wartości ciśnień wartości siły obciążającej kombajn dla systemu Flextrack oraz Eicotrack, dla porównywalnych warunków przejazdu kombajnu, przedstawiono na rysunku 11. Można zauważyć, że siła oporu generowana przez siłowniki nie narastała do maksymalnych wartości natychmiast po rozpoczęciu przejazdu kombajnu, tylko zaczynała rosnąć po przejechaniu przez kombajn drogi porównywalnej z długością jednej rynny przenośnika – około 1500 – 1600 mm. Takie zjawisko należy tłumaczyć prawdopodobnie niedostatecznym odpowietrzeniem zasilającej instalacji hydraulicznej.

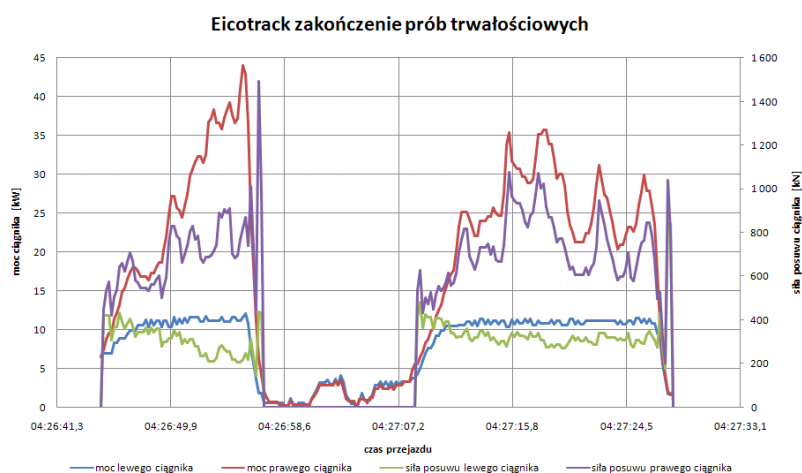
W przypadku systemu Flextrack podczas prób dławiono wypływ oleju z siłowników oporowych na regulatorze przepływu do wartości około 6,5 MPa. Dla wszystkich konfiguracji trasy przenośnika pozwoliło to wygenerowanie siły obciążającej kombajn o wartości około 330 – 340 kN. Wartość siły obciążającej podczas przejazdów kombajnu była stabilna i nie ulegała większym wahaniom. Natomiast w przypadku systemu Eicotrack zaobserwowano opisane wcześniej problemy z przejazdem kombajnu pod zwiększonym obciążeniem. Przy minimalnym dławieniu wypływu oleju z siłowników (ciśnienie na manometrze około 2,5 MPa) dla wszystkich konfiguracji trasy przenośnika umożliwiało to wygenerowanie siły obciążającej kombajn o wartości około 140 – 160 kN. Przebieg wartości tej siły był nierówny i można zauważyć wahania wartości siły do 20 kN oraz narastanie jej wartości, szczególnie w przypadku trasy wygiętej w poziomie.

Na podstawie zarejestrowanych podczas prób w skrzyni aparaturowej kombajnu typu KSW-460NE wartości parametrów energetycznych (napięcie, natężenie prądu) oraz kinematycznych (prędkość posuwu) obliczono wartości średnie pobieranej mocy przez oba ciągniki kombajnu oraz wartości średnie siły posuwu generowanej przez koła trakowe tych ciągników, zarówno dla układu posuwu Flextrack oraz Eicotrack. Na ich podstawie opracowano wykresy przebiegu ww. parametrów w początkowej i końcowej fazie realizowanych badań trwałościowych. Wykresy z końcowej fazy prób przedstawiono graficznie na rysunku 12, natomiast obliczone wartości średnie mocy i sił dla początkowej i końcowej fazy badań, w porównaniu do wartości średnich uzyskanych podczas początkowej fazy badań prawidłowości współpracy zamieszczono w tabeli 1.



Rys. 11. Przebieg wartości siły obciążającej kombajn przy prostej trasie przenośnika:
u góry – z dławieniem (około 6,5 MPa) pary siłowników oporowych – system Flextrack,
u dołu – z dławieniem (około 2,5 MPa) pary siłowników oporowych – system Eicotrack [6]





Rys. 12. Przebieg wartości mocy pobranej przez ciągniki układu posuwu oraz sił posuwu generowanych na kołach trakowych podczas końcowej fazy badań zużycia z zastosowaniem systemu Flextrack – u góry i systemu Eicotrack – na dole [6]

Wartości średnie pobranej mocy oraz sił generowanych przez koła trakowe uzyskane podczas pomiarów w czasie badań zużycia oraz wybranych przebiegów badań poprawności współpracy [6]

Tabela 1.

Lp.	Rodzaj próby lub badania	Wartości uśrednione z poszczególnych przejazdów				
		moc lewego ciągnika [W]	moc prawego ciągnika [W]	siła na średnicy podziałowej koła lewego ciągnika [N]	siła na średnicy podziałowej koła prawego ciągnika [N]	suma sił na kołach trakowych [N]
1.	Flextrack przejazd po prostym przenośniku z obciążeniem	12 795	11 652	380 886	346 031	726 917
2.	Eicotrack przejazd po prostym przenośniku z min. obciążeniem	11 276	10 166	355 416	320 111	675 527
3.	Flextrack rozpoczęcie prób trwałościowych	15 878	13 999	501 444	442 097	943 541
4.	Flextrack zakończenie prób trwałościowych	19 203	17 716	606 462	559 498	1 165 959
5.	Eicotrack rozpoczęcie prób trwałościowych	13 596	12 599	427 943	396 079	824 022
6.	Eicotrack zakończenie prób trwałościowych	10 114	23 622	324 358	707 982	1 032 340

Na podstawie analizy otrzymanych wykresów można stwierdzić, że wartości pobieranej mocy oraz siły posuwu generowanej przez koła trakowe, dla obu systemów posuwu, w pierwszej części przejazdu były zdecydowanie mniejsze (w przypadku systemu Flextrack o ponad 50%, w przypadku systemu Eicotrack trudno oszacować – (biorąc pod uwagę występujące piki była to różnica nawet kilkukrotna). Ta tendencja miała związek z wartością

siły obciążającej kombajn przez dwie pary siłowników, która wzrastała dopiero po przejechaniu około 40 – 45% długości pojedynczego przejazdu.

Natomiast widoczna jest bardzo duża różnica w przebiegu wartości pobieranej mocy oraz sił generowanych przez koła trakowe ciągników układu posuwu kombajnu. W przypadku systemu Flextrack dla obu ciągników układu posuwu przebiegi wartości pobieranej mocy, jak i generowanych sił posuwu są dla poszczególnych przejazdów, zarówno w początkowej, jak i końcowej fazie realizowanych badań zużycia, powtarzalne a ich zmienność (w porównaniu do wartości średniej – tabela 1) jest w granicach nie większych niż 65%. Tylko sporadycznie zdarzały się wartości większe niż 100%. W przypadku systemu Eicotrack przebiegi wartości pobieranej mocy i generowanych sił posuwu, szczególnie mocy w końcowej fazie prób, były bardzo nierówne a zmiana wartości (wzrost w porównaniu do wartości średniej – tabela 1) była nawet trzykrotna. Poza nierównomiernym przebiegiem mierzonych wartości można było także zauważyć, w porównaniu do systemu Flextrack, inną tendencję zmian wartości mierzonych parametrów podczas pomiarów w początkowej i końcowej fazie realizowanych badań zużycia.

W przypadku systemu Eicotrack można było zauważyć podobieństwo tylko we wzroście o około 20% wartości średnich pobranej mocy oraz sił generowanych przez koła trakowe z początkowej fazy badań zużycia, w porównaniu do badań efektywności współpracy. Charakter przebiegów mierzonych wartości był zdecydowanie odmienny dla obu etapów badań. W początkowej fazie badań zużycia wartości średnie mocy jak i siły były o około 2 do 7% większe dla lewego ciągnika. Dla końcowego etapu badań zużycia zanotowano zupełnie odmienne wyniki. Wartości średnie pobranej mocy oraz sił generowanych przez koła trakowe były ponad dwukrotnie większe w przypadku prawego ciągnika.

Takie zjawisko należy tłumaczyć wcześniej opisanymi problemami w zazębieniu się kół trakowych z drabinką, szczególnie koła prawego, które narastały od momentu rozpoczęcia badań zużycia do ich zakończenia. Ich efektem były przerwy w pracy oraz trzykrotne uszkodzenie mechanicznego bezpiecznika przeciążeniowego i awaria łożyska ciągnika.

Porównując natomiast średnią wartość sumaryczną oraz wartości średnie sił generowanych przez poszczególne koła trakowe można stwierdzić, że wartość sumaryczna sił w przypadku systemu Flextrack była zarówno w początkowej, jak i w końcowej fazie badań zużycia o około 120 kN większa w porównaniu do systemu Eicotrack.

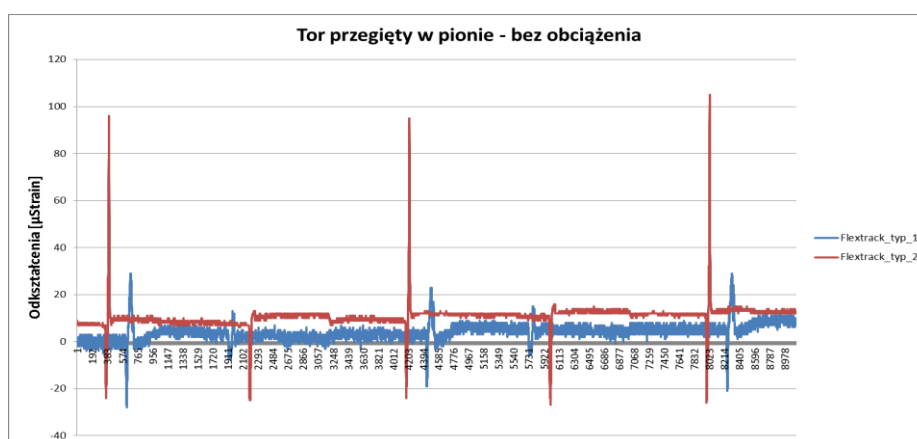
2.2. Pomiary wartości naprężeń w elementach systemu posuwu Eicotrack i Flextrack

Odształcenia, a na ich podstawie wartości naprężeń w wybranych elementach systemu posuwu Eicotrack i Flextrack mierzono z wykorzystaniem czujników światłowodowych z siatką Bragg'a. Widok jednego z segmentów zębatego systemu Flextrack, z wklejonym czujnikiem światłowodowym do pomiaru wartości odształceń pokazano na rysunku 13.



Rys. 13. Widok jednego z segmentów zębatego systemu Flextrack, z wklejonym czujnikiem światłowodowym z siatką Bragg'a do pomiaru wartości odkształceń [6]

Największe wartości naprężeń zanotowano dla segmentu zębatego Flextrack wykonanej ze stopu 6, natomiast naprężenia dla segmentu zębatego Flextrack wykonanej ze stopu 4 oraz drabinki Eicotrack były ponad dwukrotnie mniejsze i porównywalne. Porównując uzyskane wyniki (wartości odkształceń i naprężeń) można stwierdzić, że wpływ obciążenia kombajnu w trakcie przemieszczania się po trasie przenośnika na ww. wartości jest znaczny. Ta tendencja uwidacznia się zwłaszcza przy przejeździe po prostej trasie przenośnika, natomiast w najmniejszy stopniu na trasie przegiętej w poziomie. Przegięcie trasy przenośnika ma wpływ na zwiększenie wartości odkształceń i naprężeń nawet kilkakrotne, zwłaszcza w przypadku trasy wygiętej w płaszczyźnie pionowej. Wykres jednego z pomiarów odkształceń dla układu posuwu Flextrack przy trasie wygiętej w pionie, jazda bez obciążenia, przedstawiono na rysunku 14.



Rys. 14. Wykres pomiaru odkształceń dla układu posuwu Flextrack przy trasie wygiętej w pionie, jazda bez obciążenia [6]

2.3. Badania systemu posuwu Flextrack przy trasie zasypanej urobkiem

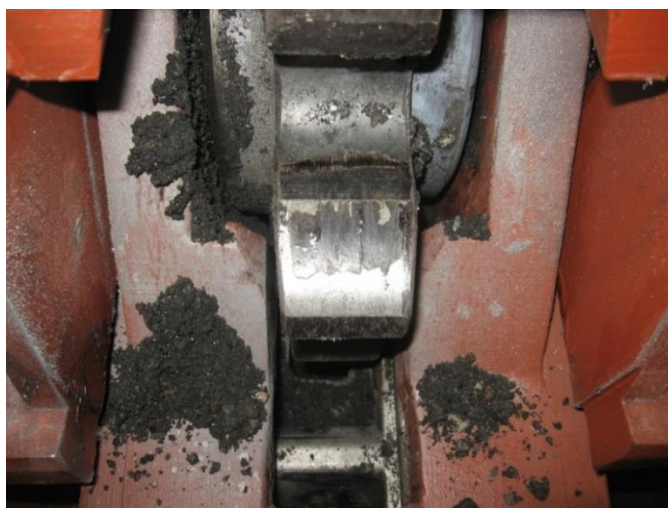
Podczas badań innowacyjnego systemu posuwu Flextrack, po zakończeniu prób trwałościowych sprawdzono także wrażliwość poszczególnych układów tego systemu na warunki panujące zazwyczaj na ścianie węglowej. Zasymulowano typowe zakłócenie zewnętrzne, jakim jest zasypianie zębatego systemu posuwu pyłem i odłamkami węgla lub mieszaniny węgla z pyłem i ziarnami skały płonnej (piaskowca), a następnie przeprowadzono

obserwację i rejestrację przebiegu pracy układu celem porównania układu posuwu pod kątem zdolności do samoczynnego usuwania zanieczyszczeń. Widok elementów systemu posuwu Flextrack (zębata i prowadniki) zasypanych drobnym węglem oraz skałą płonną po jednym przejeździe koła trakowego pokazano na rysunku 15.



Rys. 15. Widok elementów systemu posuwu Flextrack zasypanych drobnym węglem oraz skałą płonną po jednym przejeździe koła trakowego [6]

W przypadku kilku wybranych przejazdów na zębacie umieszczano większe odłamki skalne. Jednak nie spowodowało to problemów podczas przejazdu kombajnu. Kombajn przemieszczał się bez zauważalnych większych drgań czy przerw lub zmniejszenia prędkości posuwu w czasie jazdy. Nie zauważono także w trakcie i po zakończeniu prób widocznych śladów uszkodzeń na kołach trakowych. Widok jednego z kół po kilku przejazdach i współpracy z elementami systemu posuwu Flextrack zasypanymi drobnym węglem oraz skałą płonną pokazano na rysunku 16. W porównaniu do przejazdów kombajnu po trasie przenośnika bez zasypiania elementów systemu posuwu Flextrack urobkiem stwierdzono również, że wartość poziomu hałasu generowanego przez przemieszczający się kombajn jest wyraźnie mniejsza i lepiej tolerowana przez obsługę stanowiska.



Rys. 16. Widok koła trakowego po kilku przejazdach i współpracy z elementami systemu posuwu Flextrack zasypanymi drobnym węglem oraz skałą płonną [6]

3. Wyniki badań zużycia elementów posuwu

Zgodnie z opracowaną metodyką każdy z badanych systemów posuwu został poddany w ostatniej fazie prób badaniom zużycia elementów analizowanych układów posuwu, celem ustalenia formy zużycia elementów oraz wartości wielkości zużycia w funkcji czasu eksploatacji, a ściślej drogi, jaką pokona koło napędowe ciągnika we współpracy z zębatką układu posuwu Flextrack oraz drabinką układu posuwu Eicotrack. Badaniom zużycia podczas przeprowadzonych prób stanowiskowych poddano dwie pary kół trakowych – oddzielnie dla układu posuwu Flextrack i Eicotrack oraz po dwa segmenty zębatki systemu Flextrack wykonane z dwóch różnych materiałów. W przypadku systemu Flextrack każde koło współpracowało z zębatką wykonaną z innego materiału. W przypadku układu posuwu Flextrack wykonano w trakcie badań zużycia ponad 860 przejazdów, natomiast dla systemu posuwu Eicotrack około 700. Było to spowodowane, jak już wspomniano, awariami kombajnu. Poza wizualną obserwacją, każdą parę kół trakowych oraz elementy zębatek systemu Flextrack poddano pomiarom wykorzystując skaner przestrzenny 3D.

Na podstawie obserwacji można stwierdzić, że w przypadku systemu Flextrack zużywały się przede wszystkim segmenty zębatek (było to zużycie bardzo niesymetryczne), natomiast dla systemu Eicotrack występowało zużycie (w miarę równomierne) poprzeczek drabinek oraz dodatkowo także górnych płaszczyzn prowadnika, generując dużą ilość opiłków metalowych. Nie zauważono doraźnych uszkodzeń typu wyłamanie, pęknięcie lub wyrwanie. Tylko w przypadku jednego segmentu zębatki Flextrack zauważono odkształcenie plastyczne jednego z zaczepów segmentu zębatki (wygięcie na zewnątrz o około 3 mm) oraz jego pęknięcie. Widok zużycia po próbach elementów obydwóch systemów posuwu pokazano na rysunku 17. W przypadku kół trakowych nie zaobserwowano większych oznak zużycia dla kół współpracujących z segmentami zębatki Flextrack, natomiast dla kół współpracujących z drabinkami Eicotrack już po kilkudziesięciu przejazdach można było zaobserwować wycieranie i szlifowanie bocznych krawędzi zębów. Natomiast zauważono ślady metalowego pyłu powstałego na skutek współpracy koła trakowego z zębatką Flextrack wykonaną ze stopu 6. Przedstawiono to na rysunku 18.



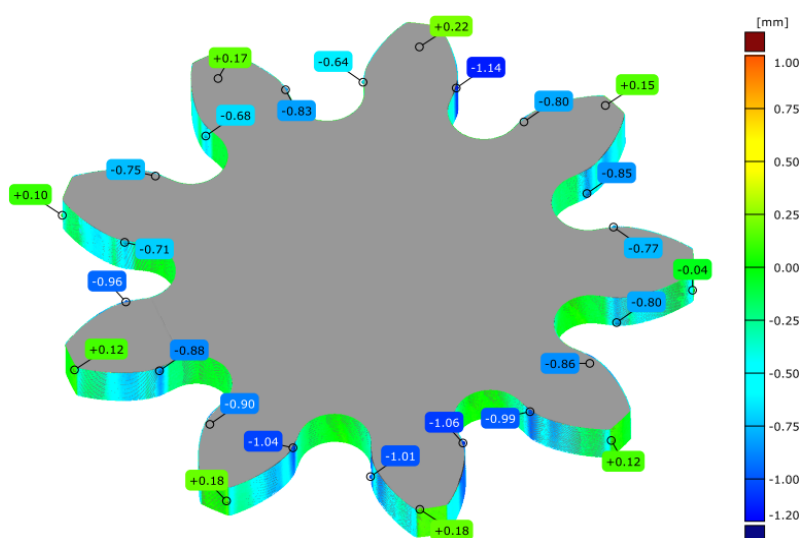
Rys. 17. Widok zużycia elementów zębatki Flextrack (po lewej) oraz drabinki Eicotrack (po prawej) [6]



Rys. 18. Widok zużycia kół trakowych współpracujących z elementami zębatego Flextrack (po lewej) oraz drabinką Eicotrack (po prawej) [6]

Dokładne informacje na temat zużycia dały pomiary kół trakowych i segmentów zębatego Flextrack wykonane skanerem przestrzennym 3D. Każdy badany element poddano skanowaniu dwukrotnie: przed rozpoczęciem badań – w celu uzyskania geometrii odniesienia a kolejny skan wykonano po zakończeniu badań. Na podstawie obróbki uzyskanych wyników wyznaczono w przypadku kół trakowych wartości średnie odchyłek oraz średnicy maksymalnego zużycia, zmiany grubości i długości zęba dla poszczególnych kół, jak też względny ubytek objętości tych kół. Natomiast w przypadku badanych segmentów zębatego wyznaczano tylko maksymalne ubytki lub przyrosty ich wymiaru. Wybrane wyniki badań zamieszczono poniżej. Zamieszczone w opisie wykresów lub tabeli oznaczenia oznaczają kolejno - EP i EL koło prawe i lewe współpracujące z drabinką Eicotrack, F1 koło współpracujące z zębatką Flextrack wykonaną ze stopu 4 a F2 koło współpracujące z zębatką wykonaną ze stopu 6.

Na rysunku 19 pokazano wynik skanowania koła F1 współpracującego z zębatką Flextrack wykonaną ze stopu 4. Efekt końcowy obróbki wyników skanowania wszystkich kół trakowych i – zmiany długości i grubości zębów, średnie odchyłki i względny ubytek objętości poszczególnych kół przedstawiono w tabeli 2 oraz na rysunku 20.

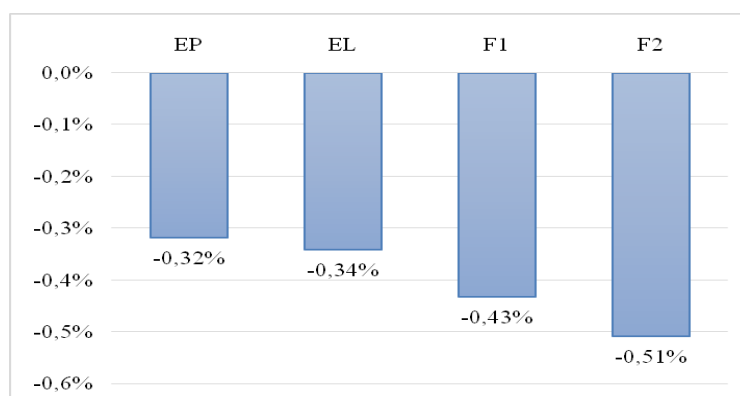


Rys. 19. Wynik skanowania 3D koła F1, i widok izometryczny [6]

Wartości średnie odchyłek oraz średnicy maksymalnego zużycia, zmiany grubości i długości zęba dla poszczególnych kół trakowych [6]

Tabela 2.

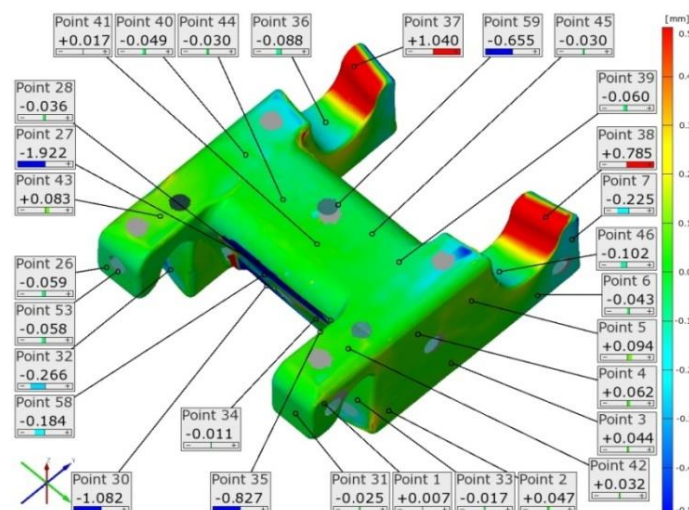
Oznaczenie koła	Odchyłka średnia	Wartość średnia zmiany grubości zęba	Wartość średnia średnicy maksymalnego zużycia	Wartość średnia zmiany długości zęba
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
EP	-0,80	-1,60	337,11	0,22
EL	-0,64	-1,28	337,24	0,31
F1	-0,87	-1,74	337,82	0,13
F2	-0,97	-1,94	338,31	0,26



Rys. 20. Względny ubytek objętości poszczególnych kół trakowych [6]

Analiza uzyskanych wyników pomiaru pozwoliła na stwierdzenie, że korzystniejsza (mniejsza) i bardziej równomierna forma zużycia występowała w przypadku segmentów zębataki Flextrack, wykonanej ze stopu 6. Umożliwiła również sformułowanie wniosku, że wprawdzie koła współpracujące z drabinką Eicotrack wykazują zwiększone ślady zużycia zwłaszcza na krawędziach zębów, jednak ich względny objętościowy ubytek był o wiele mniejszy (około 25 – 40%) niż w przypadku kół współpracujących z zębataką Flextrack. W przypadku kół trakowych EL i EP zaobserwowano jednak ślady zużycia w postaci wytarć na większości krawędzi zębów, ponadto większe ślady zużycia dla tych kół występowały również u nasady zębów. Natomiast dla kół trakowych F1 i F2 ślady zużycia zębów na krawędziach występowały w przypadku mniej niż 50% zębów. Również dla większości zębów ślady ich zużycia były zazwyczaj równomierne.

Na rysunku 21 pokazano wynik skanowania jednego z badanych elementów układu posuwu – segmentu zębataki Flextrack wykonanej ze staliwa L20HGSNM.



Rys. 21. Wynik skanowania 3D jednego z segmentów zębatego Flextrack ze stopu 4 [6]

Porównując ilościowe i jakościowe zużycie badanych segmentów zębatego można od razu zauważyć, że w przypadku segmentów zębatego wykonanych ze staliwa L20HGSNM występuje odkształcenie zaczepów dolnych i zwiększenie ich wymiaru (pęcznienie) od 0,5 do ponad 1 mm. Można także zaobserwować niewielkie odkształcenie, odgięcie zaczepów zębatego na zewnątrz. Potwierdza to wyniki obserwacji wizualnych. Analizując wyniki pomiarów uzyskane dla segmentów zębatego wykonanych ze staliwa G22NiCrMo5-6 V nie zaobserwowano takiego zjawiska.

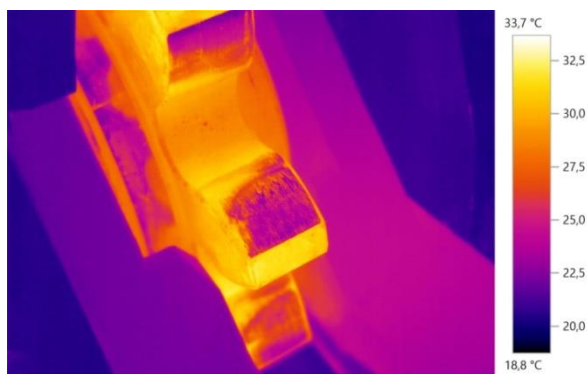
W przypadku analizy wyników związanych ze zużyciem badanych segmentów zębatego (wytarcia, wgniecenia, spęczenia itp.) należy stwierdzić, że dla wszystkich czterech segmentów zębatego maksymalne ubytki lub przyrosty wymiaru były porównywalne i wynosiły: ubytek około $2 \text{ mm} \pm 0,35$ a przyrost około $0,3 \text{ mm} \pm 0,15$. Jednak forma zużycia w przypadku segmentów zębatego wykonanych ze stopu 4 była zdecydowanie bardziej nierównomierna. Reasumując można stwierdzić, że podczas badań zużycia zarówno ilościowo jak i jakościowo korzystniej zużywały się segmenty zębatego wykonane ze stopu 6. Ponadto nie wykazywały one tendencji do plastycznych odkształceń. Jednak te segmenty spowodowały na porównywalnej drodze przejazdu o około 20% większe objętościowe zużycie koła trakowego z nimi współpracującego.

Analizując powyższe wyniki należy zauważyć, że dla obu systemów posuwu różne były liczby przejazdów, jak też obciążenie kombajnu. Te różnice w warunkach przeprowadzenia badań zużycia elementów systemu posuwu Flextrack i Eicotrack miały na pewno duży wpływ na końcowe wyniki i nie pozwalają na sformułowanie jednoznacznych wniosków i uwag końcowych związanych ze zużywaniem się kół trakowych współpracujących z badanymi systemami posuwu Flextrack i Eicotrack. Wydaje się celowym przeprowadzenie ponownej weryfikacji badanych systemów, najlepiej w warunkach półprzemysłowych, co pozwoliłoby na otrzymanie bardziej miarodajnych wyników.

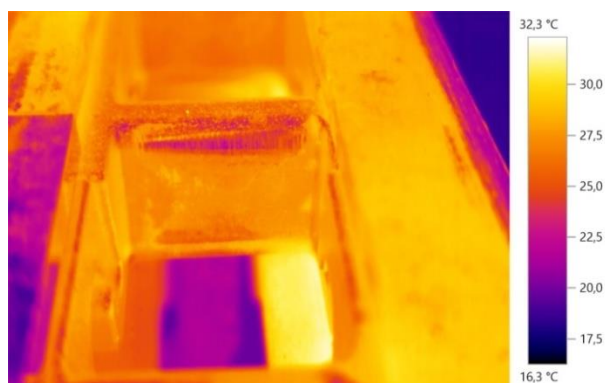
4. Badania termowizyjne

Pomiary temperatury elementów badanych systemów posuwu przeprowadzono z wykorzystaniem kamery termowizyjnej Testo 890-2. Pomiary te były wykonywane podczas badań poprawności współpracy systemu posuwu Flextrack oraz Eicotrack, po zakończeniu jednej zmiany, na której prowadzono badania zużycia systemu posuwu Flextrack oraz w czasie badań systemu posuwu Flextrack na trasie zasypanej urobkiem.

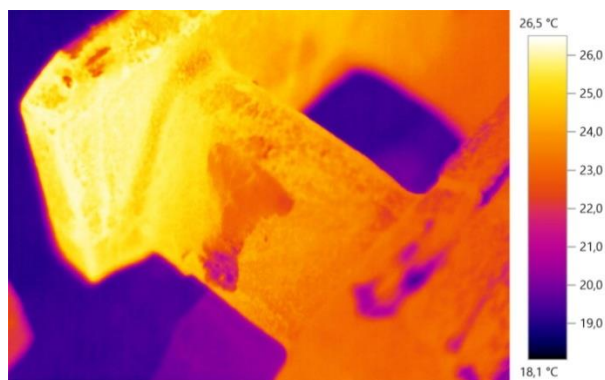
Podczas badań poprawności współpracy systemu posuwu Flextrack i Eicotrack pomiary wykonywano przed rozpoczęciem prób oraz po zakończeniu każdej sekwencji badawczej. (np. jazda z obciążeniem po trasie wygiętej w pionie – 3 przejazdy. Ze względu na brak wykonanego otworu rewizyjnego dla koła trakowego znajdującego się z lewej strony kombajnu, rejestrowano przede wszystkim temperaturę na kole po prawej stronie kombajnu (patrzac od strony „zawału”). Wybrane termogramy z rozkładem temperatur na kole trakowych prawym oraz segmentach zębatego Flextrack pokazano na rysunkach 22 i 23, natomiast termogramy z rozkładem temperatur na drabince Eicotrack przedstawiono na rysunku 24.



Rys. 22. Termogram koła trakowego współpracującego z zębatką wykonaną ze staliwa G22NiCrMo5-6V, po próbach poprawności współpracy – około 45 przejazdów kombajnu [6]



Rys. 23. Termogram segmentów zębatego wykonanej ze staliwa II, w czasie prób zużycia – około 125 przejazdów kombajnu [6]



Rys. 24. Termogram drabinki Eicotrack, w czasie prób poprawności współpracy – około 15 przejazdów [6]

Porównując otrzymane termogramy można stwierdzić, że w odniesieniu do temperatury początkowej koła trakowego i segmentu zębátky lub drabinki, po jednym przejeździe przyrost temperatury koła trakowego współpracującego z zębátką Flextrack jest niewielki (około 1,5 – 2°C) a przyrost temperatury koła współpracującego z drabinką Eicotrack był dwukrotnie większy (około 3°C). Natomiast temperatura zębátky, jak i drabinki prawie nie zmieniła się (wzrost o około 0,5 – 1°C). W przypadku termogramów wykonanych po próbach poprawności współpracy systemu posuwu Flextrack i Eicotrack można stwierdzić, że zęby kół trakowych (dla obu systemów posuwu) nagrzewają się najbardziej na powierzchni czołowej oraz powierzchniach bocznych, jak też powierzchniach dna wrębów międzyzębnych.

Dla kół współpracujących z zębátką Flextrack temperatura po około 45 przejazdach dochodziła do 32°C. W przypadku kół współpracujących z drabinką Eicotrack temperatura była porównywalna, lecz liczba przejazdów podczas pomiaru nie przekroczyła 15.

Porównując natomiast rozkład i wartość temperatury na zębátce Flextrack i drabince Eicotrack można zauważyć, że temperatura zębátky nieznacznie wzrosła do około 24°C, natomiast na górnej powierzchni prowadników zębátky miejsca gdzie temperatura była wyższa i wynosiła nawet 29°C. W przypadku prowadników zębátky Flextrack wzrost temperatury był najbardziej zauważalny na ich górnej powierzchni. Było to jednak spowodowane nie współpracą z kołami trakowymi, lecz tarcie od płozy koła trakowego. Tarcie to było prawdopodobnie także powodem nagrzewania się całej drabinki Eicotrack. Po 15 przejazdach jej temperatura wzrosła do 26°C.

Pomiary temperatury kamerą termowizyjną były wykonane jeszcze dla systemu Flextrack po przejechaniu około 125 przejazdów na zakończenie jednej ze zmian. Nagrzewanie koła trakowego było podobne jak w przypadku poprzednio opisanych pomiarów, zmieniła się tylko wartość maksymalna temperatury, która dochodziła do 50°C. Natomiast temperatura zębátky i prowadników była porównywalna, zębátka około 28-29°C, prowadnik około 30°C.

W przypadku systemu Eicotrack próby były przerywane przez częste awarie. Po zmianie, na której wykonano ponad 135 przejazdów, zmierzona temperatura koła trakowego dochodziła do 80°C, natomiast temperatura drabinki wynosiła około 50°C a miejscami przekraczała 55°C. Można zatem stwierdzić, że w przypadku systemu Flextrack nagrzewanie się współpracujących elementów jest mniejsze w porównaniu do systemu Eicotrack.

Bardzo interesujące wyniki uzyskano podczas pomiarów temperatury przy zębatce Flextrack zasypanej urobkiem. Po sześciu przejazdach temperatura koła trakowego nieznacznie wzrosła do około 22°C, natomiast temperatura zębátky prawie nie zmieniła się (wartość około 21°C). W przypadku pracy po zasypanej urobkiem zębatce, urobek ten odbiera w znacznym stopniu powstałe podczas współpracy ciepło.

5. Podsumowanie

Na podstawie analizy uzyskanych wyników badań można zauważyć, że badany innowacyjny układ posuwu Flextrack stanowi korzystniejsze rozwiązanie w porównaniu z obecnie stosowanym systemem posuwu Eicotrack, pomimo tego, iż nie udało się uzyskać w nowym systemie oczekiwanego zmniejszenia zużycia kół trakowych. Umożliwiło to zastąpienie sztywnych segmentów (jak w przypadku drabinki Eicotrack), zębatką składającą się z segmentów pojedynczych zębów, połączonych ze sobą kształtowo, w sposób pozwalający na obrót segmentów względem siebie, co czyniło z zębátky ciągną podatną, pozwalającą na dostosowanie toru zębátky do kształtu trasy przenośnika.

Analiza wyników badań prowadzona była pod kątem oceny własności użytkowych innowacyjnego rozwiązania układu posuwu kombajnu ścianowego Flextrack, w odniesieniu do alternatywnego rozwiązania takiego układu posuwu o nazwie Eicotrack pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

1. Z uwagi na cechy techniczne obu porównywanych systemów posuwu, nie było możliwe zapewnienie dla nich całkowicie adekwatnych warunków obciążenia, ani takiej samej liczby cykli przemieszczania ciągników po trasie przenośnika. Próby z wykorzystaniem systemu Eicotrack były przeprowadzone z minimalnym obciążeniem, jednak nawet takie małe obciążenie spowodowało trzykrotne zerwanie przeciążeniowego bezpiecznika mechanicznego oraz awarię łożyska tocznego w jednym z ciągników posuwu.
2. Sumaryczna droga przejazdu kombajnu dla obu systemów była różna. W przypadku układu posuwu Flextrack wykonano w trakcie badań zużycia ponad 860 przejazdów, natomiast dla systemu posuwu Eicotrack około 700.
3. Zużycie kół trakowych było w tych warunkach większe w przypadku systemu Flextrack niż w przypadku systemu Eicotrack.
4. Nie stwierdzono problemów z montażem i demontażem segmentów zębatek Flextrack w prowadnikach.
5. Konstrukcja układu posuwu Flextrack umożliwia samoczynne usuwanie zanieczyszczeń w formie odłamków węgla i pyłu węglowego oraz skały płonnej dla warunków, jakie mogą występować w przeciętnej w ścianie węglowej. Przemieszczanie kombajnu nie natrafiało na większe trudności, a zanieczyszczenie węglem powoduje korzystniejsze warunki współpracy kół z segmentami zębátky, co wpływało na zmniejszenie hałasu i poprzez tłumienie zmniejszało dynamikę współpracy elementów.
6. Pomiary zużycia segmentów zębátky Flextrack przeprowadzono celem porównania wpływu użytych materiałów na żywotność drabinki. Zużycie segmentów zębátky wykonanych ze stopu 4 było większe niż segmentów wykonanych ze stopu 6. Zużycie kół trakowych

współpracujących z tymi zębatkami kształtowało się w oczekiwany sposób, to znaczy, że dla koła współpracującego z zębatką o większym zużyciu było mniejsze, zaś dla koła współpracującego z zębatką o mniejszym zużyciu, większe.

7. Odkształcenia i naprężenia były najmniejsze w drabince Eicotrack i zębatce Flextrack ze stopu 4, natomiast dla zębatki wykonanej ze stopu 6 dużo większe. Odkształcenia zębów w zębatce Flextrack wykazywały tendencję wzrostową w trakcie trwania prób.

W podsumowaniu należy zauważyć, iż we wstępnych teoretycznych analizach skoncentrowano się na rozwiązaniu problemu zmniejszenia naprężeń kontaktowych przy współpracy koła z segmentami zębatki Flextrack, w którym to celu zmodyfikowano zarys segmentów zębatki. Należy przeprowadzić ponownie analizę pozwalającą na określenie wpływu drugiego czynnika, jakim jest poślizg związany ze współpracą pary koło – zębatka. Odejście od modelu zazębienia o zarysie ewolwentowym mogło spowodować wzrost udziału poślizgu w kontakcie zęba koła z zębem zębatki, co skutkuje właśnie zwiększonym zużyciem. Wynika stąd wniosek, iż kolejnym krokiem w rozwoju konstrukcji powinno być przeprowadzenie analizy i syntezy pary kinematycznej koło trakowe – segmenty zębatki. Wyniki dotychczasowych prób wskazują na to, że takie działanie byłoby celowe. W przeciwnym razie należy rozważyć wykorzystanie klasycznego zazębienia opartego na ewolwentowym zarysie zęba koła i dostosowanie do niego zębatki, która w tym przypadku powinna mieć zęby proste.

Literatura

1. Gazda A., Jaśkowiec K., Kotulski K., Kurdziel P., Pirowski Z., Pysz S., Uhl W., Zachura A.: „Innowacyjny system posuwu FLEXTRACK - dobór materiałów (stopów odlewniczych)”. Monografia: „Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa Bezpieczeństwo – Efektywność – Niezawodność. KOMTECH 2015”. (Rozdział 5, s. 223-236) red. Klich A., Kozieł A. Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2015. ISBN 9788360708903.
2. Gil A., Jaśkowiec K., Krzak I., Pieczora E., Pirowski Z., Kotulski K., Kurdziel P., Uhl W., Wójcik M., Zachura A.: „Innowacyjny system posuwu FLEXTRACK - ocena jakości wykonanych odlewów prototypowych”. Monografia: „Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa Bezpieczeństwo – Efektywność – Niezawodność. KOMTECH 2015”. (Rozdział 5, s. 250-265) red. Klich A., Kozieł A. Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2015. ISBN 9788360708903.
3. Kotulski K., Kurdziel P., Pirowski Z., Pysz S., Uhl W., Zachura A., Żuczek R., Żyła P.: „Innowacyjny system posuwu FLEXTRACK - opracowanie technologii wykonania odlewanych segmentów zębatki i prowadnika”. Monografia: „Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa Bezpieczeństwo – Efektywność – Niezawodność. KOMTECH 2015”. (Rozdział 5, s. 237-249) red. Klich A., Kozieł A. Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2015. ISBN 9788360708903.
4. Materiały informacyjne firmy Eickhoff.
5. Pieczora E., Mazurkiewicz A., Tarkowski A., Zachura A.: „Innowacyjny system posuwu FLEXTRACK - koncepcja i wirtualne prototypowanie”. Monografia: „Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa Bezpieczeństwo – Efektywność – Niezawodność. KOMTECH 2015”. (Rozdział 5, s. 210-222) red. Klich A., Kozieł A. Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2015. ISBN 9788360708903.

6. Sprawozdanie z realizacji zadań w ramach Projektu Programu Badań Stosowanych 1 - Innowacyjny system posuwu maszyny wydobywczej podnoszący efektywność wydobywania oraz bezpieczeństwa pracy w kompleksach ścianowych. Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2014 – 2016, (materiały nie publikowane).
7. Zachura A., Żuczek R.: System posuwu Flextrack zwiększający trwałość i niezawodność napędu kombajnu ścianowego. Monografia KOMTECH 2014 „Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo – Efektywność - Niezawodność”. Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2014, str. 151-161.

Niniejsza publikacja powstała w ramach realizacji projektu pt. „Innowacyjny system posuwu maszyny wydobywczej podnoszący efektywność wydobywania oraz bezpieczeństwa pracy w kompleksach ścianowych” (akronim FLEXTRACK, umowa nr PBS1/B2/5/2012), współfinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach Programu Badań Stosowanych 1 i przedstawia wyniki uzyskane w toku jego realizacji.

Nowe urządzenia zraszające

Dominik Bałaga - Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Marek Kalita - Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Michał Siegmund - Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie: W rozdziale zaprezentowano wybrane urządzenia zraszające opracowane w ITG KOMAG i przeznaczone do redukcji zapylenia w górnictwie węgla kamiennego. Omówiono budowę zasadę ich działania oraz przedstawiono doświadczenia dotychczasowej eksploatacji. Zaprezentowano kierunki rozwoju urządzeń zraszających, aspekcie możliwości ich szerszego zastosowania w innych gałęziach przemysłu.

New spraying devices

Abstract: Selected spraying devices developed at KOMAG for reduction of airborne dust in hard coal mining industry are presented. Their design and principle of operation are discussed and experience gained during their operation is given. Directions of development of spraying devices in the aspect of possibilities of use of these devices in other branches of industry are presented.

1. Wprowadzenie

W Instytucie Techniki Górniczej KOMAG, od szeregu lat realizowane są prace projektowe instalacji, do wytwarzania strumieni zraszających, mających na celu redukcję zapylenia powstającego w trakcie eksploatacji [5]. Doświadczenia eksploatacyjne walki z pyłem w górnictwie wykazują, że odznaczają się one wysoką skutecznością i niższymi kosztami użytkowania. Wysoka skuteczność uzyskiwana jest dzięki odpowiednio dobranym parametrom kropeł w strumieniach zraszających. Przykładowo w pracy [4], potwierdzono wpływ ich wielkości na efektywność wytrącania pyłu i skuteczność redukcji zapylenia. Wykorzystywana jest w tym celu technologia wytwarzania mgły wodnej, poprzez dobór dysz zraszających oraz właściwych parametrów ciśnienia wody (w przypadku dysz jednoczynnikowych) oraz ciśnienia wody i sprężonego powietrza (w przypadku dysz dwuczynnikowych). Zdobyte doświadczenia w warunkach dołowych kopalń, w których wdrożono kilkadziesiąt instalacji zraszania powietrzno-wodnego, przeznaczonych dla kombajnów ścianowych typu KSW-460NE, KSW-880EU, KSW-1500 i chodnikowych R-200, R-130 [6], umożliwiły również zaprojektowanie urządzeń zraszających, redukujących zapylenie pochodzące z innych źródeł w m.in.: na przesypach przenośników taśmowych (BRYZA), w wyrobiskach górniczych (FOG) oraz w zakładach przeróbczych (PASAT).

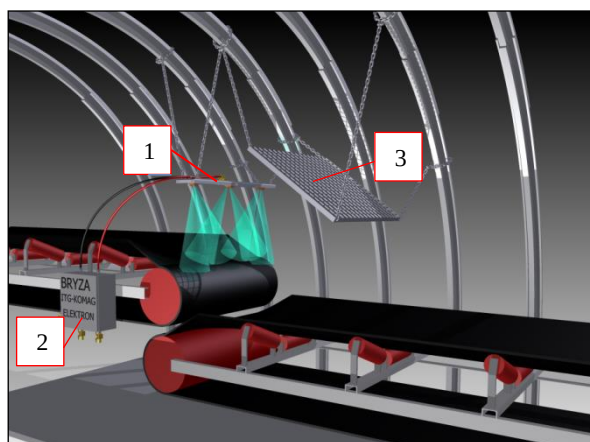
Rozwój konstrukcji dysz zraszających, pozwolił dodatkowo na poszerzenie zakresu stosowania urządzeń zraszających w innych gałęziach przemysłu. Przykładem jest system do redukcji pyłu pochodzenia drzewnego, w zakładach przeróbki drewna [9].

Uniwersalność technologii wytwarzania mgły wodnej, została wykorzystana również do opracowania projektu autonomicznego urządzenia zamgławiającego (OAZA), instalowanego w formie kurtyn zraszających, na nieosłoniętych skwerach, placach oraz przystankach, w celu

zwiększania komfortu cieplnego człowieka w upalne dni [7]. Kolejnym obszarem zastosowania technologii wytwarzania mgły wodnej są instalacje do redukcji odorów w zakładzie unieszkodliwiania odpadów (DINO). Działają one poprzez rozpylanie środka antyodorowego w formie mgły, łącząc cząstki preparatu neutralizującego z cząsteczkami odorów [8].

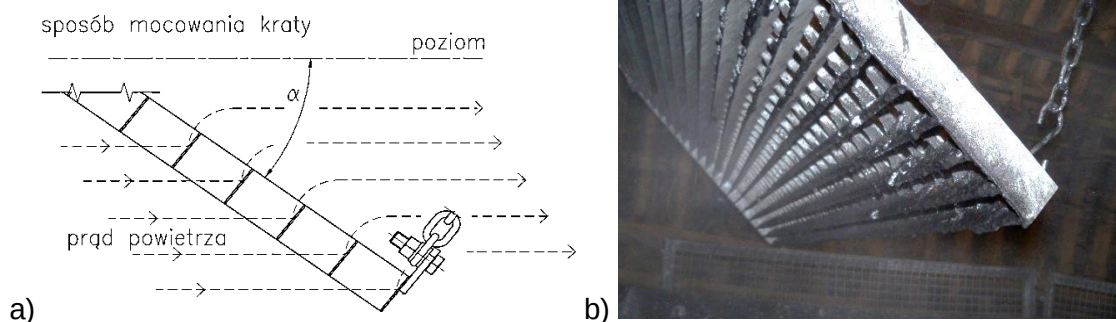
2. Urządzenia do redukcji pyłu w kopalniach węgla kamiennego

Rozwiązaniem wykorzystującym technologię mgły wodnej, poza kombajnami górniczymi, jest system zraszania BRYZA, służący do redukcji zapylenia powstającego w wyniku transportu urobku na taśmach przenośnika [1]. Do wytworzenia strumieni zraszających, zraszacz wykorzystuje sprężone powietrze, które rozpyla wodę. Rozwiązanie to powstało we współpracy z firmą Elektron s.c. i charakteryzuje się wysoką niezawodnością, prostą budową oraz uniwersalnością. Układ powietrzno-wodny zraszacza pracuje przy niskich wartościach ciśnienia wody oraz sprężonego powietrza ($0,2\div0,6$ MPa), co pozwala na jego użytkowanie tam gdzie możliwy jest dostęp do rurociągów sprężonego powietrza oraz rurociągu p.poż. System charakteryzuje się niskim zużyciem wody zraszającej, wynoszącym ok. $0,5\text{ dm}^3/\text{min}$ dla instalacji składającej się z 4-6 dysz [1]. Zraszacz wyposażony jest w trzy głowice zasilające (poz. 1, rys. 1), z trzema dyszami powietrzno-wodnymi.



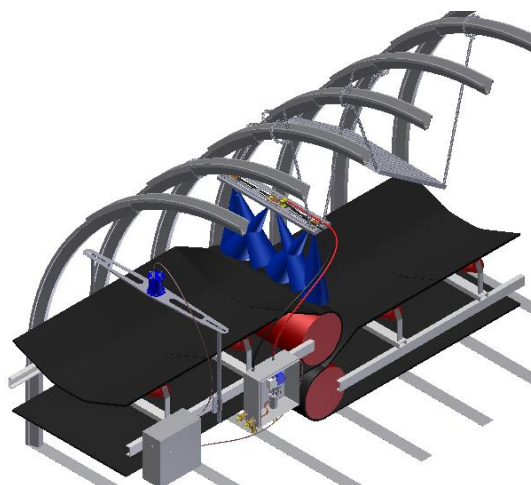
Rys. 1. System zraszania przesypu przenośników BRYZA [10]

Woda oraz sprężone powietrze do zasilania dysz dostarczane są z zespołu zasilająco-sterującego (poz. 2, rys. 1), wyposażonego w filtry oraz zawory redukcyjne ciśnienia mediów. Elementem systemu jest także ażurowa krata (poz. 3, rys. 1) wychwytyująca zwilżony pył, dzięki jej usytuowaniu (rys. 2a).



Rys. 2. Żaluzjowa kratownica systemu BRYZA: a) zasada działania b) obiekt rzeczywisty [10]

Zwilżone cząsteczki pyłu przemieszczające się z prądem powietrza w kierunku kraty, uderzają w przegrodę, gdzie odkładają się w postaci szlamu (rys. 3b). Uniwersalność rozwiązania pozwala na wyposażenie systemu w automatyczne sterowanie [2] (rys. 3).



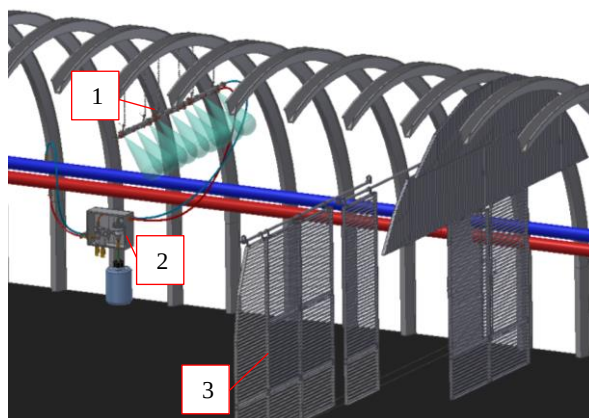
Rys. 3. System zraszania przesypu przenośników BRYZA z ultradźwiękowym czujnikiem nadawy [10]

System zraszania typu BRYZA, umożliwia osiągnięcie skuteczności redukcji zapylenia dochodzącej do 90%, co zostało potwierdzone badaniami dołowymi prowadzonymi w miejscu wdrożenia, w LW Bogdanka [1].

Kolejnym rozwiązaniem jest urządzenie typu FOG do redukcji zapylenia przenoszzonego w wyrobiskach korytarzowych. Wykorzystuje się w nim ideę zraszania powietrzno-wodnego, ograniczającą zużycie wody, przy zachowaniu wysokiej energii wyrzutu kropli zraszających. Zasada działania urządzenia polega na wytworzeniu kurtyny z mgły wodnej w przekroju wyrobiska tak, aby przemieszczający się pył łączył się z rozpylonymi kroplami wody, doprowadzając do ich opadania.

Zużycie wody nie przekracza $1,5 \text{ dm}^3/\text{min}$, a sprężonego powietrza $50 \text{ dm}^3/\text{min}$. Układ hydro-pneumatyczny pracuje przy niskich wartościach ciśnienia ($0,2\div 0,6 \text{ MPa}$), co pozwala na jego użytkowanie, tam gdzie jest dostęp do rurociągów sprężonego powietrza oraz rurociągu p.poż., bez konieczności stosowania dodatkowych pomp lub sprężarek.

Urządzenie wyposażone jest w kolektor (poz. 1, rys. 4), zbudowany z trzech modułów, na których zamontowano po trzy głowice wraz z dyszami powietrzno-wodnymi. Media zraszające przed dostarczeniem do kolektora, przygotowywane są w zespole zasilająco-dozującym (poz. 2, rys. 4), gdzie są oczyszczane i następuje redukcja ich ciśnienia, opcjonalnie dozowane są środki zmniejszające napięcie powierzchniowe wody.



Rys. 4. Chodnikowe urządzenie zamglawiające FOG [10]

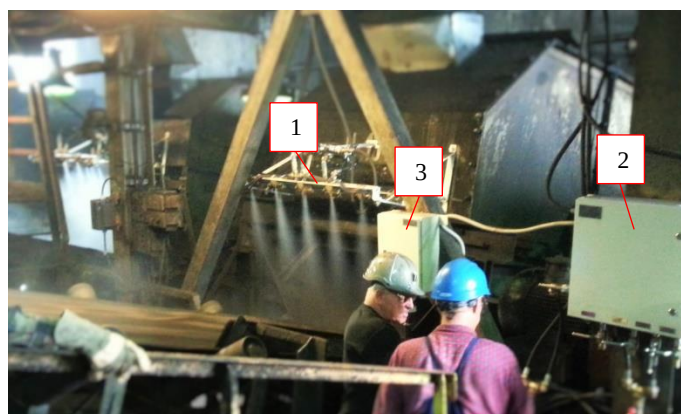
Urządzenie typu FOG wyposażono w dodatkowe kraty żaluzjowe (poz. 3, rys. 4) ustawione labiryntowo w określonej długości wyrobiska korytarzowego, przy pokryciu 90% powierzchni jego przekroju poprzecznego. Zadaniem krat, podobnie jak w przypadku systemu BRYZA, jest zatrzymywanie zwilżonego pyłu, bez ograniczania przepływu powietrza, przy równoczesnym swobodnym przejściu załogi górniczej oraz transporcie, poprzez zastosowanie krat przesuwno-obrotowych w części przekroju chodnika. Efekt osadzania się zwilżonego pyłu na kratkach żaluzjowych, przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Zjawisko wychwytywania karty zwilżonego pyłu przez żaluzjowe [10]

Badania dołowe systemu FOG wykazały spadek zapylenia o 40÷50%, doprowadzając jednocześnie do zwiększenia wilgotności spągu oraz ociosów wyrobiska na długości około 100 m.

Kolejnym opracowaniem jest system mgłowy PASAT, przeznaczony dla zakładów przeróbczych węgla [2, 3], montowany na przesypach przenośników oraz kruszarek i składa się z trzech baterii zraszających (poz. 1, rys. 6), montowanych na wylocie z przesypu.



Rys. 6. System mgłowy PASAT [10]

Strumienie mgły wytwarzane przez jedną z baterii skierowane są do wnętrza obudowy przesypu, co umożliwia redukcję pyłu już w miejscu jego powstawania. Dwie baterie skierowane są w stronę wylotu taśmy przenośnika, z obudowy przesypu, dzięki czemu strumienie strącają i zwilżają pozostałe cząsteczki pyłu, prowadząc do osadzania się ich na przenośniku. Woda oraz sprężone powietrze dostarczane są przewodami elastycznymi z zespołu zasilania (poz. 2, rys. 6), gdzie są ustalane i mierzone ich parametry. Sterowanie realizowane w skrzyni (poz. 3, rys. 6), polega na automatycznym załączaniu się baterii zraszających w przypadku ruchu przenośnika zgrzeblowego i przenośnika taśmowego odbierającego węgiel. Załączenie systemu ma miejsce tylko w przypadku zachowania prawidłowych parametrów ciśnienia wody i sprężonego powietrza, wynoszących $(0,2 \pm 0,6 \text{ MPa})$. Zużycie wody wynosi zaledwie $1,5 \text{ dm}^3/\text{min}$, na trzy baterie zamgławiające, co nieznacznie wpływa na zawilgocenie transportowanego urobku oraz zawilgocenie powietrza.

3. Nowe obszary zastosowań systemów zraszania

W ITG KOMAG opracowano koncepcję instalacji do ograniczania zapylenia w komorach składowania wkładu drewnianego, w zakładach przetwórstwa drewna [9]. Instalacja ma za zadanie ograniczenie pylenia pochodzącego ze stalowych wysypów oraz zapobieganie wydostawaniu się pyłu poza zbiorniki składowania drewnianego wkładu (rys. 7).

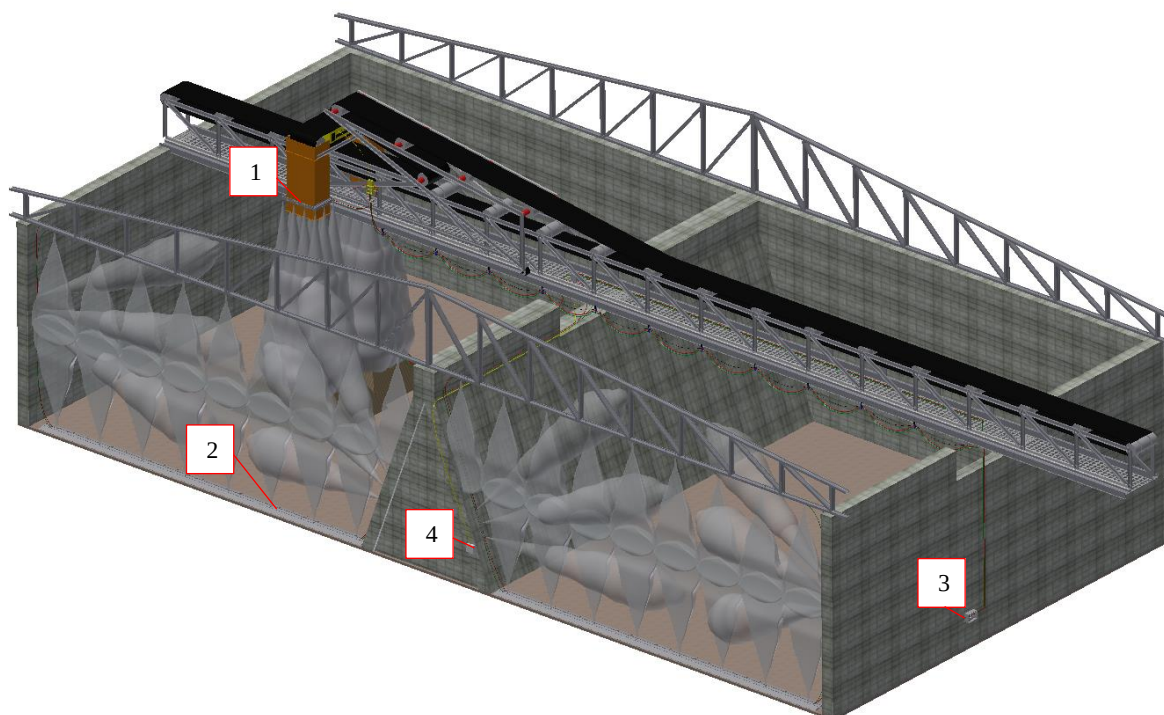


Rys. 7. Zakład przetwórstwa drewna: a) komory składowania wkładu drewnianego
b) stalowy wysyp przenośnika taśmowego [10]

Instalacja zraszania (zamgławiania) (rys. 9) wykorzystuje wodę oraz sprężone powietrze, o wartości ciśnienia nie większym niż 0,6 MPa, które są przygotowywane w skrzyni zasilającej znajdującej się w pobliżu miejsca przyłączenia mediów (poz. 3, rys. 8).

Ze względu na sposób generowania i rozprzestrzeniania się pyłu zaproponowano dwa sposoby ograniczania zapylenia. Pierwszy polega na zastosowaniu monolitycznych baterii zraszających, wytwarzających strumienie mgły skierowane w dół komory, tworzących kurtynę, której zadaniem jest szczelna izolacja wysypującego się materiału drewnianego (poz. 1, rys. 8). Baterie wyposażone zostały w 10 dysz dwuczynninkowych, do których dostarczane są woda i sprężone powietrze. Zastosowane dysze wytwarzają strumienie o kształcie pełnego stożka, o kącie $17-21^\circ$ i zasięgu maksymalnym ok. 8,5 m. Każda z dwóch baterii charakteryzuje się wydatkiem wody wynoszącym $13,0 \text{ dm}^3/\text{min}$. Drugi sposób polega na zabudowaniu dwóch kurtyn, składających się z czterech oddzielnych paneli zraszających, usytuowanych wokół wlotu do komory (poz. 2, rys. 8). Panele umieszczono pod konstrukcją zadaszenia, na posadzce oraz na ściankach bocznych każdej z komór. Wytwarzane strumienie skierowane są do osi otworu wlotowego komór, co zapobiega wydostawaniu się pyłu. Łącznie zastosowano 29 dysz dwuczynninkowych, wchodzących w skład jednej kurtyny. Sumaryczne zużycie wody wynosi ok. $11 \text{ dm}^3/\text{min}$.

Sterowanie bateriami zraszającymi (lewą lub prawą), znajdującymi się po obu stronach ruchomej platformy przenośnika, realizowane jest dzięki zastosowaniu elektrozaworów włączanych automatycznie w zależności od kierunku wysypywania materiału (lewy lub prawy wysyp). W przypadku paneli zraszających kurtyn wlotowych, sterowanie realizowane jest ręcznie za pomocą przycisku zlokalizowanego na skrzynce elektrycznej (poz. 4, rys. 8).



Rys. 8. Instalacja do ograniczania zapylenia w zakładzie przetwórstwa drewna [10]

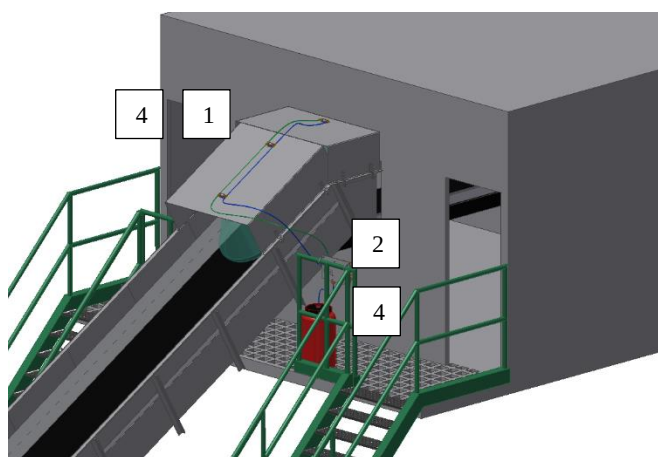
Obecnie prowadzone są prace projektowe, zmierzające do wdrożenia przedstawionej koncepcji instalacji na obiekcie rzeczywistym i poddaniu jej badaniom skuteczności redukcji zapylenia.

Nowym obszarem zastosowań instalacji zraszających, jest redukcja substancji złośliwych. Problem zanieczyszczenia powietrza obserwowany jest w wielu dziedzinach przemysłu. Jednym z takich miejsc jest zakład utylizacji odpadów, a w szczególności miejsce ich sortowania (rys. 9) [8].



Rys. 9. Sortownia materiałów w Zakładzie Unieszkodliwiania Odpadów [8]

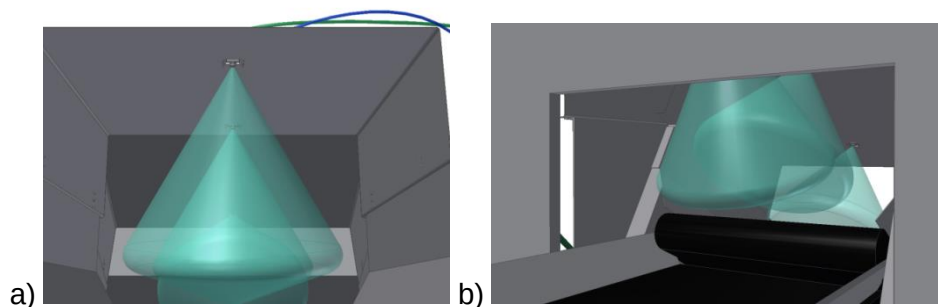
Długotrwała ekspozycja organizmów na odory może być przyczyną złego samopoczucia. Opracowana w ITG KOMAG, a produkowana przez firmę Hellfeier Sp. z o.o., demonstracyjna instalacja wykorzystuje system zraszania, dzięki czemu rozpylany roztwór antyodorowy, w postaci drobnych kropeł, skutecznie wchodzi w reakcję z cząsteczkami odorów. Instalacja zbudowana jest z dwóch głównych zespołów tj: zespołu zamgławiania (poz. 1, rys. 10) oraz zespołu zasilająco-sterującego (poz. 2, rys. 10), odpowiedzialnego za przygotowanie wody oraz sprężonego powietrza.



Rys. 10. Model instalacji demonstracyjnej, zabudowanej na galerii budynku sortowni odpadów [10]

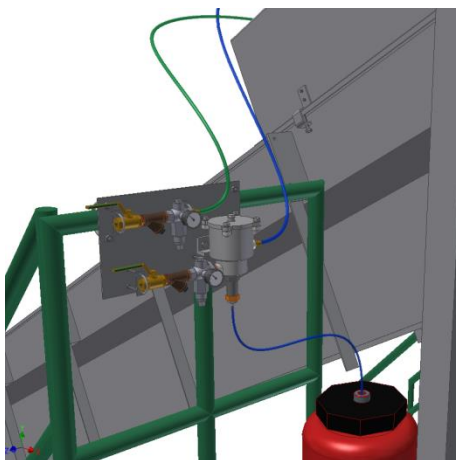
W skład zespołu zamgławiania wchodzi zestaw trzech zespołów dysz zraszających: dwóch dysz rozpylających stożkowy strumień mgły oraz jednej dyszy wytwarzającej płaski strumień.

Pierwsze dwie dysze (o stożkowym strumieniu), mają za zadanie rozpylić środek neutralizujący odoranty wokół odpadów (rys. 11a), podczas gdy trzecia dysza (płaska), znajdująca się tuż przed wlotem do sortowni, ma za zadanie zwilżać i zapobiegać unoszeniu pyłu, powstającego podczas przesypywania odpadów na dolną taśmę (rys. 11b). Zastosowanie osłon ma za zadanie ograniczenie ewentualnego rozprzestrzeniania się powstającej mgły, nie pogarszając komfortu pracowników sortowni.



Rys. 11. Widok zespołu zamgławiającego: a) w kierunku sortowni, b) od strony sortowni [10]

W skład zespołu zasilająco-sterującego wchodzi elementy przygotowania mediów zraszających, takie jak: zawory odcinające, filtry, zawory redukcyjne oraz mechaniczny dozownik preparatu neutralizującego, dostarczany ze zbiornika zlokalizowanego obok zespołu zasilająco-sterującego (rys. 12).



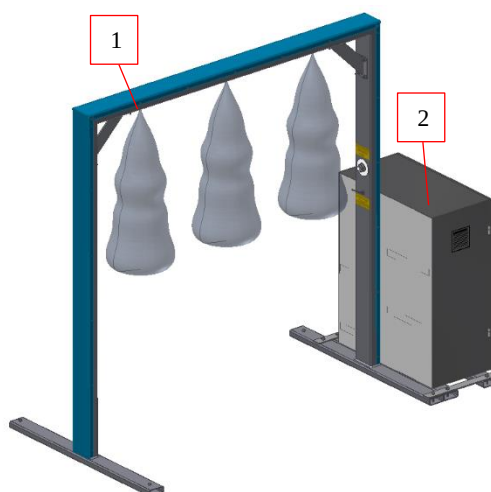
Rys. 12. Zespół zasilająco-sterujący ze zbiornikiem preparatu antyodorowego [10]

Układ pneumatyczno-hydrauliczny instalacji pracuje w zakresie niskich wartości ciśnienia $0,2\div 0,6$ MPa, a sumaryczne zużycie wody dla trzech zespołów rozpylających wynosi $30\text{ dm}^3/\text{h}$, z maksymalnym zużyciem dozowanego preparatu wynoszącym $0,6\text{ dm}^3/\text{h}$. Tak dobrane parametry instalacji nie wpływają na komfort pracy (małe zawilgocenie powietrza) osób sortujących odpady, a rozpylony preparat antyodorowy, skutecznie eliminuje substancje złośliwe.

Innym zastosowaniem technologii mgły wodnej, jest opracowane w ITG KOMAG autonomiczne urządzenie zamgławiające OAZA, którego idea jest wytwarzanie strumieni mgłowych, zwiększających komfort termiczny w czasie wysokich temperatur [7]. Celem

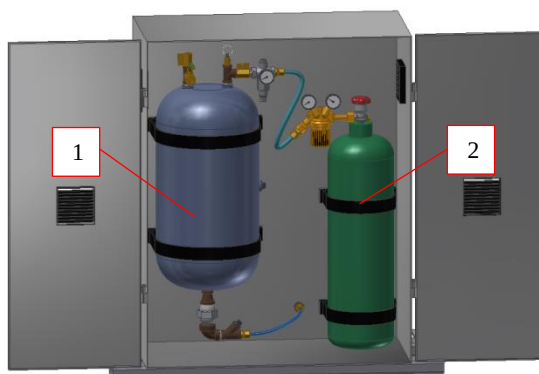
wytworzonych kropel mgły wodnej jest szybsze odebranie energii (ciepła) z ciała człowieka, następnie przejście do stanu pary wodnej, dzięki czemu nie występuje efekt zmoczenia.

Autonomiczne urządzenie zamgławiające zbudowane jest z dwóch podstawowych zespołów: bramki zamgławiającej (poz. 1, rys. 13) oraz szafy zasilającej (poz. 2, rys. 13). Zadaniem urządzenia jest wytworzenie strumieni mgłowych przy pomocy wodnych dysz zraszających, zabudowanych na bramce, zasilanych wodą o ciśnieniu nie przekraczającym 0,6 MPa. Ciśnienie wody wytwarzane jest poprzez dostarczenie do zbiornika wody, sprężonego powietrza, które mają za zadanie wypychać wodę ze zbiornika i dostarczać ją przewodami do bramki zamgławiającej.



Rys. 13. Budowa autonomicznego urządzenia zamgławiającego OAZA [10]

Sprężone powietrze dostarczane jest do zbiornika (poz. 1, rys. 14) z butli (poz. 2, rys. 14) o pojemności 14,5 dm³, pod ciśnieniem 20 MPa, co umożliwia pracę instalacji przez ok. 11 dni, przy ciśnieniu wynoszącym 0,5 MPa i natężeniu przepływu wody wynoszącym 6 dm³/h.



Rys. 14. Szafka zasilająca [10]

Zamgławianie może odbywać się w dwóch wariantach: ciągłym (do momentu wyczerpania wody ze zbiornika), lub czasowym po naciśnięciu przycisku (przez 1 min). Przesterowanie między wariantami odbywa się dzięki zaworowi trójdrożnemu, zlokalizowanemu na bramce zamgławiającej.

Zastosowane w urządzeniu nowatorskie rozwiązanie wytwarzania ciśnienia wody, przy użyciu butli ze sprężonym powietrzem, eliminuje konieczność stosowania pomp oraz konieczność stałego dostępu do sieci wodociągowej. Pozwala to na zwiększenie zasięgu jego stosowania. Wytypowane do urządzenia dysze zamgławiające charakteryzują się niewielkim zużyciem wody, wynoszącym maksymalnie 2 dm³/min, przy niskiej wartości ciśnienia zasilania (od 0,2 MPa) wody.

4. Podsumowanie

Stosowana i rozwijana od kilkunastu lat w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG, technologia zraszania z zastosowaniem mgły wodnej, jest z powodzeniem wykorzystywana do redukcji zapylenia powstającego w warunkach górniczych. Potwierdzeniem są liczne wdrożenia systemów wykorzystujących powietrzno-wodne instalacje zraszające, przeznaczone do redukcji pyłu kopalnianego, zarówno w wyrobiskach górniczych (FOG), na przesypach przenośników taśmowych (BRYZA) oraz w zakładach przerobczych węgla (PASAT). Ich zaletą jest niewielkie zużycie wody od 0,5 dm³/min (co nie pogarsza parametrów jakościowych transportowanego węgla), a przede wszystkim wysoki stopień rozdrobnienia kropeł, sięgający kilkunastu mikrometrów, dzięki czemu skutecznie redukują pył respirabilny.

Zjawisko wysokiego rozdrobnienia kropeł, umożliwiło poszerzenie zakresu zastosowania również poza obszarami górniczymi. Przykładem tego jest opracowana instalacja redukcji pyłu w komorach składowania rozdrobnionego drewna, w zakładach przetwórstwa drewna. Rozwiązanie uniemożliwia wydostawanie się pyłu poza obszar składowania drewna, zwiększając bezpieczeństwo działania zakładu oraz podnosząc komfort pracy pracowników. Sprężone powietrze wykorzystano również do rozpylania preparatów antyodorowych, za pomocą instalacji neutralizującej odory (DINO), przeznaczonej dla zakładów unieszkodliwiania odpadów. Dzięki wysokiej dyspersji preparatu, przez sprężone powietrze, zwiększa się zdolność wychwytywania i neutralizacji cząstek odorowych, a utrzymująca się w powietrzu znaczna liczba kropeł (w postaci mgły), wydłuża efekt procesu neutralizacji gazów złośliwych.

Rozwój nowego typu wodnych dysz zamgławiających (średnice poniżej 20 µm), zasilanych niskimi wartościami ciśnienia wody (0,2÷0,6 MPa), umożliwił zaprojektowanie autonomicznego urządzenia zamgławiającego (OAZA). Urządzenie to, dzięki odpowiedniemu rozpyleniu kropeł, pozwala na szybsze odebranie energii (ciepła) od osób przechodzących pod jego konstrukcją w czasie wysokich temperatur. Zastosowany nowatorski sposób zasilania wodą zwiększa jego mobilność i zasięg stosowania.

Technologia wytwarzania mgły wodnej, rozwijana w ITG KOMAG, pozwala na oferowanie jej z powodzeniem w nowych gałęziach przemysłu oraz w nowych obszarach zastosowań.

Literatura

1. Bałaga D., Siegmund M., Urbanek A.: Nowe rozwiązania urządzeń zraszających ograniczające zagrożenia pyłowe w górnictwie. Maszyny Górnicze nr 2, Gliwice 2012 r.
2. Bałaga D., Cebula D., Kalita M., Siegmund M.: Powietrzno-wodne instalacje zraszające do redukcji zapylenia. Wiad. Gór. 2015 nr 11 s. 560-568, ISSN 0043-5120.

3. Bałaga D., Siegmund M., Urbanek A.: Systemy do redukcji zapylenia w zakładach przeróbczych. Maszyny Górnicze nr 1, Gliwice 2015 r.
4. Karowiec K.: Zwalczanie zapylenia za pomocą wyrzutu strumienia powietrza nasyconego mgłą wodną na źródło pyłu. Maszyny Górnicze nr 5, Gliwice 1984 r.
5. Prostański D., Bałaga D.: Prace badawcze Instytutu Techniki Górniczej KOMAG w zakresie powietrzno-wodnych instalacji zraszających. Masz. Gór. 2010 nr 3-4 s. 156-162.
6. Pieczora E., Prostański D., Bałaga D., Rojek P.: Air-water sprinkling – cheaper, comfortably and safety. Prace naukowe GIG. Górnictwo i środowisko nr 3/1/2009, s.179÷189. Katowice 2009.
7. Instrukcja ścianowego systemu zraszania powietrzno-wodnego typu KOMAG – dokumentacja techniczna ITG KOMAG, Gliwice 2013, (materiały niepublikowane).
8. Bałaga D. i inni: Autonomiczne urządzenie zamgławiające W90.364.01PW-CY wydanie 1, Gliwice 2016, (materiały niepublikowane).
9. Bałaga D. i inni: Demonstracyjna instalacja do neutralizacji odorów i pyłów, projekt wstępny W50.039PW-CY wydanie 1, Gliwice 2016, (materiały niepublikowane).
10. Bałaga D. i inni: Koncepcja instalacji do ograniczania pylenia w komorach składowania rozdrobnionego wkładu drewnianego, Gliwice 2016, (materiały niepublikowane).
11. Dokumentacja fotograficzna ITG KOMAG.

Zdalne sterowanie kombajnem chodnikowym – aspekt praktyczny

Jacek Korsi – FAMUR S.A.

Streszczenie: Zdalne sterowanie kombajnem chodnikowym stosowane jest do wielu lat. Powszechnie stosowano zdalne sterowanie lokalne poprawiające komfort pracy operatora przez ułatwienie obserwacji pracy maszyny z dogodnych i bezpiecznych miejsc w sąsiedztwie kombajnu. Pojawienie się nowych wymagań w postaci zdalnego sterowania kombajnem chodnikowym z miejsc oddalonych od kombajnu kazało zdefiniować na nowo wymagania dotyczące takiego rozwiązania. W rozdziale poruszono pewne praktyczne aspekty stosowania odległego, zdalnego sterowania kombajnami chodnikowymi.

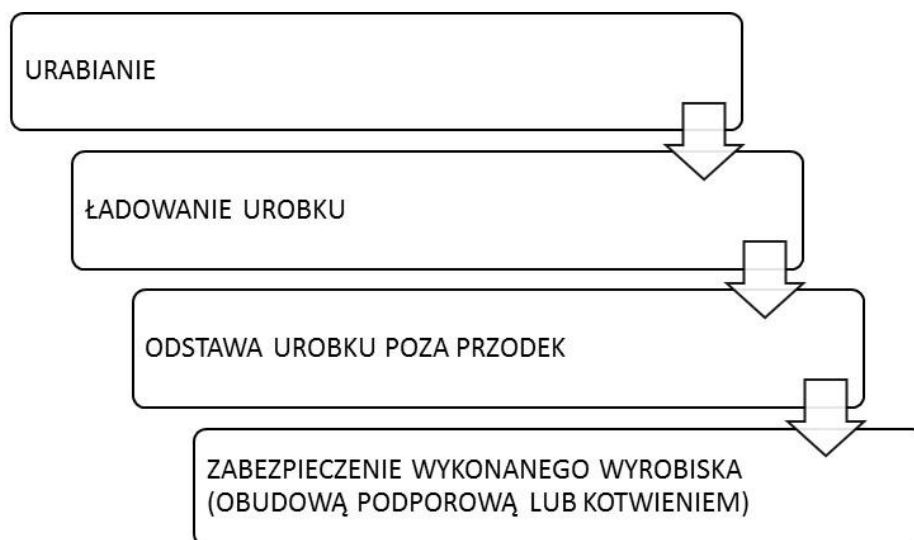
Remote control of roadheader – practical aspect

Abstract: Remote controlled roadheaders are used many years. Typical solutions help operators to take better position than in operators stage, but close to the machine. Operator has better condition for observation. In case of outburst hazard cutting with roadheaders is increasing danger for face crew. For this reason is necessary to use blasting or to use remotely controlled roadheaders with operators cabin in a safe place – both solutions are acceptable, but using roadheaders is more effective. Outside remote control system for roadheaders need new description of remote control. In article are described practical aspect of remote controlled gallery drilling with roadheader.

1. Wprowadzenie

Wykonywanie poziomych lub nachylonych wyrobisk korytarzowych [7] jest niezbędnym elementem w górnictwie podziemnym i budownictwie komunikacyjnym (tunele, przepusty). Jedną z metod drążenia wyrobisk korytarzowych jest zastosowanie mechanicznego urabiania, w tym za pomocą kombajnów chodnikowych. W kopalniach podziemnych drążenie wyrobisk poziomych i pochyłych jest elementem megaprocesu wydobywczego [4] w procesach udostępnienia i przygotowania złoża do eksploatacji.

Kombajn chodnikowy to maszyna urabiająca zespołowa [5, 8] wykonująca, oprócz urabiania, jeszcze co najmniej jedną z realizowanych w przodku chodnika operacji składających się na podstawowy cykl drążenia chodnika (tunele) (rys. 1). Kombajny chodnikowe umożliwiły zwiększenie postępów drążenia wyrobisk korytarzowych przez niemal równoległe wykonywanie 3 spośród 4 podstawowych operacji realizowanych w przodku [9, 11].



Rys. 1. Cykl podstawowy (elementarny) drążenia wyrobiska korytarzowego lub tunelu
[opracowanie własne]

Bardzo rzadkie są przypadki, kiedy nie zachodzi potrzeba zabezpieczania wykonywanego wyrobiska za pomocą obudowy podporowej lub kotwienia (np. w kopalniach soli kamiennej lub potasowej). Elementarny cykl tych powtarzających się operacji wyznaczany jest warunkami górnictwo-geologicznymi (a w tym własnościami geomechanicznymi skał otaczających drążone wyrobisko) w postaci bezpiecznego odsłonięcia stropu lub technicznym zasięgiem urządzeń technicznych stanowiących wyposażenie przodka.

Wynikające z konieczności zabezpieczenia wykonanego odcinka wyrobiska konieczne przerwy technologiczne w urabianiu oraz podobne przerwy technologiczne związane z przemieszczaniem urządzeń stanowiących wyposażenie przodka, choć są konieczne, ograniczają czas związany z efektywnym urabianiem przodka.

Obok kombajnów służących do drążenia wyrobisk korytarzowych istnieje także grupa tych maszyn służąca do wybierania kopalin w systemach chodnikowych i komorowo-filarowych, w tym kombajny urabiające liniowo typu *Continuous Miner*.

Te ostatnie maszyny służą także do drążenia wyrobisk korytarzowych w poziomych i słabo nachylonych pokładach węgla. Istnieją także bardzo wyspecjalizowane maszyny – kombajny chodnikowe urabiające liniowo wyposażone w instalacje do kotwienia stropu (maszyny typu *Bolter Miner* czy *Entry Driver*).

Pierwsze kombajny chodnikowe, ze względu na niewielkie gabaryty maszyny, zapewniały operatorom dobrą widoczność ze stanowiska pracy (rys. 2).



Rys. 2. Kombajn chodnikowy typu PK-7-typowy przedstawiciel lekkich kombajnów chodnikowych do drążenia chodników węglowych

Wzrost mocy i wynikający z tego wzrost masy i gabarytów kombajnów chodnikowych spowodowały, że operatorowi maszyny (kombajniście) coraz trudniej było obserwować poprawność procesu urabiania. Rozwiązaniem było umożliwienie kombajniście sterowanie kombajnem z bezpośredniego sąsiedztwa maszyny – lokalne sterowanie zdalne.

Zastosowanie zdalnego sterowania kombajnami chodnikowymi wprowadzono pierwotnie w podgrupie tych maszyn, czyli kombajnach typu *Continuous Miner* stosowanych do robót przygotowawczych i eksploatacji węgla w wąskoprzodkowych systemach wybierania węgla nazywanych ogólnie *Room and Pillar* (*Bord and Pillar*). Cechą charakterystyczną tych kombajnów był tzw. liniowy organ urabiający o szerokości równej szerokości urabianego przodka. Zarówno duża szerokość organu urabiającego wraz z ramieniem (boom), jak i często niewielka odległość pomiędzy stropem drążonego wyrobiska, a kadłubem kombajnu nie pozwalały operatorowi kombajnu – kombajniście na pełną obserwację urabianej przestrzeni i kontrolowanie procesu urabiania ze stanowiska sterowania zlokalizowanego na maszynie. Problem pogłębiał fakt, iż kombajny typu *Continuous Miner* stosowane były w wieloprzodkowym systemie eksploatacji, gdzie kombajn po wykonaniu zabioru w jednym przodku przejeżdżał do kolejnego, sąsiedniego przodka. Dobra widzialność pokonywanej trasy była niezbędnym warunkiem szybkiego i bezpiecznego przejazdu. Z wymienionych powodów możliwość zmiany pozycji (miejsca przebywania) operatora ułatwiała mu pracę przez lepszą kontrolę procesu urabiania i sterowania czynnością urabiania węgla (także niektórych innych skał).

W systemach komorowo-filarowych, gdzie dodatkowo wybierano pozostawione wcześniej filary, a w sąsiedztwie wybieranej przestrzeni było duże ryzyko niekontrolowanego opadu skał stropowych, możliwość zajmowania bezpiecznej, umożliwiającej dogodną obserwację przez kombajnistę – operatora kombajnu była bardzo ważna, zwłaszcza, że wiązała się z licznymi manewrami kombajnem.

Dotychczasowe rozwiązania zdalnego sterowania lokalnego kombajnami, cechowały się funkcjonalnością i prostotą zalecaną jako cecha dobrych rozwiązań inżynierskich [6] z zachowaniem bezpieczeństwa pracy [2].

2. Drażenie wyrobisk korytarzowych zdalnie sterowanymi kombajnami chodnikowymi w praktyce światowej

Już stosowane w polskim górnictwie węglowym kombajny PK-9R oraz używane nadal kombajny rodziny AM-50Z w znacznie większym stopniu ograniczały pole widzenia kombajnisty. Doraźnym, ale nadal stosowanym, rozwiązaniem było ustawianie drugiego górnika – pomocnika kombajnisty, który ruchami osobistej lampy wskazywał kombajniście kierunki przemieszczania organu urabiającego. Pomocnik kombajnisty stał przy stole ładowarki kombajnu po jego przeciwnej, w stosunku do stanowiska kombajnisty, stronie. Stanowisko to było narażone na uderzenie odpryskami skał wyrzucanymi przez kombajn lub obrywaniem się albo obsuwaniem brył skalnych z czoła przodka. Zagrożenie to zaczęło narastać ze wzrostem gabarytów (szerokość i wysokość przodka). Dlatego początkowo w najcięższych kombajnach chodnikowych (Roadheader) zaczęto stopniowo wprowadzać zdalne sterowanie kombajnem z sąsiedztwa maszyny urabiającej, nie likwidując początkowo możliwości kierowania kombajnem ze stacjonarnego stanowiska zabudowanego na tym kombajnie.

2.1. Warunki stosowania zdalnego sterowania kombajnem chodnikowym

Zastosowane w kombajnach typu Continuous Miner, a następnie w kombajnach z punktowymi organami urabiającymi (Roadheader) układy zdalnego sterowania miały charakter 2-punktowy, gdzie istotne jest wzajemne położenie dwóch punktów (w istocie brył):

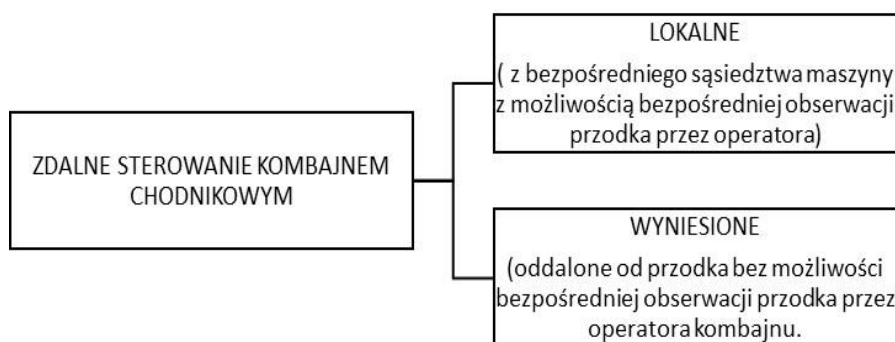
- przeznaczonej do urobienia w danym cyklu bryły calizny,
- bryła kombajnu wraz organem urabiającym.

W tym systemie kontrolę poprawności kierunku drażenia i nachylenia (czy utrzymania zadanego przekroju przodka) realizowano pomiędzy cyklami urabiania. Gabaryty użytkowe wyrobiska wyznacza urobiona przestrzeń oraz wykonana obudowa wyrobiska (w przypadku wyrobisk z obudową podporową). Cykl elementarny drażenia wyznacza odstępy czasowe pomiędzy kontrolą poprawności kierunku, nachylenia przodka i kształtu zaplanowanego wyłomu.

W związku z faktem, iż kombajny chodnikowe stosowane są nie tylko do drażenia chodników w kopalniach, ale także w geoinżynierii i budownictwie tunelowym należy wskazać na istotną różnicę w warunkach wykorzystania tych maszyn: w budownictwie tunelowym, nie tylko kształt, ale i kierunek drażonego tunelu oraz jego nachylenie są z góry zaprogramowane (zaprojektowane). W przypadku wyrobisk drażonych jako wyrobisko przygotowawcze np. w kopalni węgla kamiennego jeden z tych parametrów (kierunek drażenia lub nachylenie wyrobiska) są uzależnione od zalegania pokładu.

Obecność załogi w przodku drażonego wyrobiska w czasie urabiania może być źródłem bardzo poważnego zagrożenia np. w przypadku możliwości wystąpienia wyrzutów skał i gazu lub uderów. W takich sytuacjach dąży się do wyeliminowania obecności załogi w przodku

drażonego wyrobiska w trakcie urabiania. Jako przykład można wskazać kopalnię Mina VII firmy MIMOSA na północy Meksyku, gdzie po wyrzucie metanu i węgla w czasie urabiania kombajnem chodnikowym w przodku drażonego chodnika węglowo-kamiennego ustalono wymagania dla zdalnego sterowania kombajnem chodnikowym. Wymagania te określały warunek zlokalizowania stanowiska operatora kombajnu zawsze w opływowym prądzie powietrza za załamaniem wyrobiska (ukryte przed bezpośrednim, dynamicznym oddziaływaniem wyrzutu – oznaczało to odległość stanowiska operatora do przodka do ponad 200 m. Pojawiła się więc pokazana na rysunku 3 nowa grupa wymagań odsuwająca operatora kombajnu na bezpieczną odległość od przodka z pozbawieniem go jednak możliwości bezpośredniej (wzrokowej) obserwacji operacji urabiania.



Rys.3. Podstawowe warianty zdalnego sterowania kombajnem chodnikowym
[opracowanie własne]

Przykładem opracowanego w Polsce rozwiązania lokalnego zdalnego sterowania kombajnem chodnikowym jest RSKID opracowany kilka lat temu ITN EMAG [1, 10].

Współcześnie kilka jednostek w Polsce pracuje nad zdalnym sterowaniem kombajnem chodnikowym z wyniesionym na znaczną odległość stanowiskiem operatora (ITG KOMAG, Elgór-Hansen i in.). W założeniach niektórych z tych prac wskazuje się wyniesione zdalne sterowanie kombajnem jako etap do pełnej automatyzacji urabiania i wręcz w pełni autonomicznego drażenia wyrobiska korytarzowego, chociaż w warunkach wykonywania wyrobiska korytarzowego w np. kopalni węgla kamiennego:

- nie da się jednoznacznie zaprogramować kierunku i nachyleń drażonego wyrobiska na całym wybiegu,
- w procesie urabiania nie opracowano dotychczas czujnika jednoznacznie odróżniającego np. węgiel od skały płonnej,
- nie stworzono jeszcze rozwiązań umożliwiających zdalne wyniesione sterowanie procesem zabezpieczenia wyrobiska,
- przodek drażonego wyrobiska i jego bezpośrednie zaplecze jest miejscem gdzie znajdują się także inne urządzenia i instalacje (jak np. powszechne w polskich kopalniach węgla kamiennego: przenośniki taśmowe, rurociągi, lutniociągi i trasy kolejek podwieszanych), które wymagają cyklicznego przemieszczania za postępowaniem przodka (rys. 4).

Z punktu widzenia celu drażenia wyrobiska korytarzowego (chodnika, ale także tunelu), w tym kombajnem chodnikowym jest realizowane dla:

- Wykonania wyrobiska korytarzowego (udostępniającego lub przygotowawczego I-go rzędu) według z góry zadanego kierunku i nachylenia podłużnego. Nie wyklucza to zmian kierunku i nachylenia chodnika na jego długości, ale zmiany te są wcześniej zaprogramowane (zaplanowane);
- W przypadku innych robót przygotowawczych (w tym chodniki przyścianowe i przecinki montażowe-startowe) zaplanowany jest albo tylko kierunek drążenia (najczęściej chodniki przyścianowe lub kierunkowe albo zaplanowane jest nachylenie chodnika. Drugi parametr (nachylenie lub kierunek) są konsekwencją zmian zalegania pokładu. Z tego powodu chodniki kierunkowe o zadanym kierunku (np. pod zabudowę taśmociągów) są proste, ale pofałdowane, a chodniki podstawowe są poziome, ale kręte.



Rys.4. Przodek chodnika drążonego kombajnem chodnikowym wraz z wyposażeniem
[zdjęcie autor]

W drążeniu wyrobisk korytarzowych (chodników, tuneli) istnieją także ograniczenia wynikające z właściwości maszyny – kombajnu chodnikowego (dopuszczalny zakres nachyleń poprzecznych i podłużnych, zdolność urabiania skał mierzona np. wskaźnikiem wytrzymałość skał na ściskanie [RC]). Podane ograniczenia ujawniają się zwłaszcza przy drążeniu wyrobisk przygotowawczych, kiedy np. nachylenia pokładu przekraczają wartości graniczne dozwolone dla danego kombajnu lub pojawiają się skały o wytrzymałości R_c większej niż graniczne określone dla danego kombajnu.

2.2. Zdalne sterowanie kombajnem chodnikowym ze stanowiskiem operatora wyniesionym poza przodek

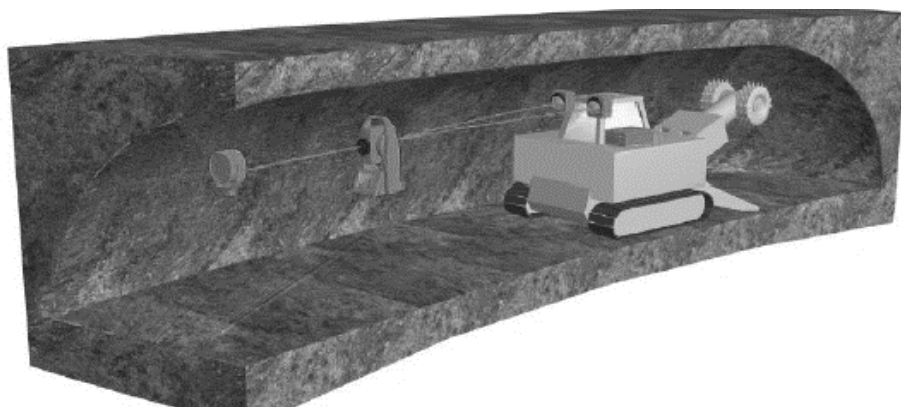
W ostatnich latach pojawiło się ze strony niektórych użytkowników kombajnów chodnikowych w zapewnienie im możliwości zdalnego sterowania ze znacznej odległości od przodka (od 30 m w Polsce do ponad 200 m w Meksyku). Wynikało to z pojawienia się w przodkach drążonych chodników zagrożenia wyrzutem gazów i skał. Uznano więc, że w czasie urabiania kombajnem w przodku nie mogą przebywać ludzie. W tym przypadku operator – kombajnista tracił możliwość obserwacji bezpośredniej pracy kombajnu.

Także wtedy pojawiła się idea 3-punktowego zdalnego sterowania kombajnem chodnikowym, czyli układu z:

- ustalonym punktem (w istocie bryłą) stanowiącą układ odniesienia;
- punkt (bryła) kombajnu chodnikowego wraz z pozycją organu urabiającego;
- ustalona przestrzeń, która ma być urobiona w danym cyklu.

Ideą takich rozwiązań było stworzenie sztucznego układu odniesienia umożliwiającego wyznaczanie względem niego ustawienie kombajnu chodnikowego oraz zaplanowanej wcześniej przestrzeni do urabiania.

Pokazane na rysunku 5 rozwiązanie bazuje na wykorzystaniu tachimetru (w istocie urządzenia z laserem pozwalającym na pomiar odległości i kątów) utwierdzonego na stropie lub ociosie wyrobiska wymaga też dodatkowego wyposażenia kombajnu chodnikowego. Działanie systemu opiera się na określeniu pozycji i orientacji korpusu maszyny w stosunku do tachimetru (Total Station) zamontowanego na ścianie tunelu, na podstawie dwóch pryzmatów z migawką je przesłaniającą.



Rys.5. Idea systemu SLS-Roadheader pozycjonowania kombajnu firmy VMS ze sztucznym układem odniesienia

Obrót korpusu kombajnu wykrywany jest za pomocą dwuosiowego inklinometru. Przesunięcie wysięgnika głowicy oraz położenie samej głowicy urabiającej określane jest z czujników przesunięcia (enkoderów obrotowych i liniowych). W tym i podobnych rozwiązaniach pojawia się wiele elementów o dużej wrażliwości na uszkodzenie lub przestawienie (deregulację układu odniesienia). Rozwiązania takie wydają się uzasadnione przy drążeniu ciężkimi kombajnami chodnikowymi (masa 100 Mg i więcej) tuneli podobnie, jak opracowane zastosowane przez firmę GEODATA na potrzeby tunelowych kombajnów firmy Sandvik.

Ten podstawowy cykl pracy przodka zawiera się wielokrotnie w innych cyklach wynikających np. z zasięgu technicznego innych urządzeń (wydłużanie odstawy, przewodów zasilających lub tras urządzeń transportowych) czy zapewnienia właściwych warunków pracy (konieczność przedłużania wentylacji).

Należy podkreślić, że zabezpieczenie przodka obudową podporową lub jego zakotwienie jest czynnością wykluczającą się z urabianiem (nawet zaawansowana odmiana rozwojowa kombajnu typu Continuous Miner czyli Entry Driver 12ED25 firmy Joy dostosowany do równoległego urabiania i kotwienia nie jest w stanie urabiać cały czas w trakcie kotwienia

wyrobiska!). Ponadto zabezpieczanie wyrobiska przez postawienie obudowy i/lub kotwienie wymaga obecności ludzi w przodku – **ma to istotne znaczenie bowiem, co każde 1-2 m postępu ludzie muszą wejść do przodka** i zabezpieczyć strop i ociosów. W tym czasie istnieje możliwość kontroli poprawności drażenia chodnika (np. kierunek i prawidłowy profil lub nachylenie). W czasie koniecznej obecności ludzi w przodku istnieje także możliwość wprowadzenia korekt (wynikających z niepożądanych odchyłeń z poprzedniego cyklu i np. zmian zalegania pokładu). Te korekty można wprowadzić przez korektę ustawienia kombajnu (bez urabiania) i lub korektę geometrii skrawu (zaprogramowanie). **Ze względu na obecność ludzi w przodku po każdym cyklu praktycznie niemożliwe jest wystąpienie „grubego” odchylenia (błędu).**

Można wskazać, że współcześnie w niemieckich kopalniach węgla kamiennego zastosowano w ścianach urabianych kombajnami podobne podejście:

- Obudowa zmechanizowana wyposażona jest w czujniki pozwalające na precyzyjne określenie geometrii obudowy (wysokość, pochylenia i kąty między elementami obudowy) z transmisją danych do dyspozytora na powierzchni.
- Do dyspozytora na powierzchni przesyłana jest aktualna pozycja kombajnu w ścianie.
- Na podstawie danych historycznych dyspozytor na powierzchni na tablicy synoptycznej otrzymuje informację o ułożeniu (prostoliniowości) przenośnika ścianowego.
- Kombajn wyposażony jest w układ pamięci skrawu i, tym samym, powtórzenia zadanego lub wykonanego wcześniej skrawu.

Pozwala to na urabianie w ścianie w reżimie automatycznym – bez obecności człowieka w ścianie. **Po każdym jednak skrawie następuje zatrzymanie urządzeń i kontrola ściany przez człowieka, który telefonicznie podaje dyspozytorowi na powierzchni poprawki (korekty), które ten wprowadza np. do pamięci kombajnu.** Takie działanie wynika między innymi z faktu, że nie powstały czujniki umożliwiające automatyczne rozróżnienie pokładu węgla od skały płonnej w jego otoczeniu. Prawdopodobnie z tych przyczyn zarówno CAT, jak i Joy w swoich materiałach reklamowych nie wspominają już o automatycznym ruchu ściany, ale o zaawansowanym zdalnym sterowaniu, gdzie na szeroką skalę zabudowano kamery zainstalowane na maszynie urabiającej i obudowie ściany. Te kamery i kontrola przez ludzi są źródłem informacji dla ewentualnych korekt wynikających m.in. ze zmiany zalegania pokładu. Nie ma także narzędzi predykcji lokalnych zmian zalegania czy grubości pokładu.

2.3. Praktyczne zastosowania kombajnu chodnikowego z wyniesionym stanowiskiem operatora

W kopalni Mina VII znajdującej się na północy Meksyku i należącej do grupy Mimosa zastosowano kombajn chodnikowy IBS 130 z systemem wyniesionego zdalnego sterowania typu INDURAD. Cykl pracy (urabiania) odbywa się po uzyskaniu pozwolenia od dyspozytora z powierzchni za pomocą radiotelefonu z anteną cieknącą. Kombajn chodnikowy wyposażony jest układ pomiaru odległości korpusu kombajnu od istniejącego układu odniesienia ociosów wyrobiska. Na ociosie wyrobiska zabudowane są ekrany (odbłyśniki), które pomocnicy przebudowują na najbliższe przodka odrzwia obudowy wraz z ich wypoziomowaniem. Po zainstalowaniu „ekranów” następowało ustawienie kombajnu do pozycji wyjściowej – środek wyrobiska. Kombajn sterowany była za pomocą przenośnego pulpitu - pilota drogą radiową. W trakcie ustawiania kombajnu w przodku dokonywano „zerowania” wskazań w kabinie

sterowania z wykorzystaniem łączności bezprzewodowej. Zarówno położenie organu, jak i usytuowanie kombajnu oprócz widocznego położenia posiadają wyświetlane cyfry ze strzałkami odniesienia. Po ustawieniu kombajnu oględnyemu sprawdzeniu następuje wycofanie załogi w miejsce zabudowania kabiny, a po uzyskaniu pozwolenia urabianie. Operator steruje na podstawie obrazu z kamer wizyjnych oraz na podstawie obrazu z czujników położenia. Nie jest zaprogramowany skraw wzorcowy.

Po wyrobieniu środkowej części przekroju wyrobiska zostaje zatrzymane urabianie i jeden z operatorów zabiera pulpit i wraz z kilkoma pracownikami idzie do przodka. Tam następuje sprawdzenie wykonania dotychczasowego postępu, przestawienie kombajnu np. na lewy ocios i ponowne wzorcowanie pozycji kombajnu. Czynności te są powtarzane aż do zakończenia urabiania i przystąpienia do wykonywania obudowy przodka. Czynności te zajmują ok. 45 do 80 minut. W ciągu jednej zmiany uzyskuje się do 4 mb postępu przodka.

W związku z tym, że dla każdej ściany prowadzi się podwójne chodniki przyścianowe połączone przecinkami co ok. 200 m i drążenie obu chodników wykonywane jest równoległe to kabiny operatorów zlokalizowane są obok siebie w przecince, w opływowym prądzie powietrza. W każdej z kabin znajdują monitory i pulpity sterownicze. Obraz na monitorach podzielony jest na 4 pola:

- Pole 1- lewy górny róg - położenie kombajnu (obrys) w przekroju poziomym wyrobiska.
- Pole 2- prawy górny róg - obszar podzielony po połowie na widoki z lewej i prawej kamery na organ.
- Pole 3- lewy dolny róg- widok z kamery na przesyp taśmowy na najbliższym skrzyżowaniu.
- Pole 4 – prawy dolny róg – obszar pokazujący ruch organu w obszarze: obudowy łukowej, obszar dopuszczanego urabiania, podcięcie spągu (linia spągu pogrubiona).

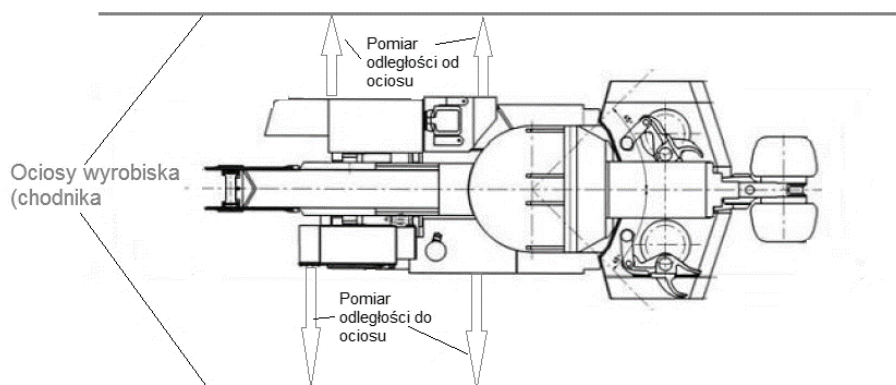
Dla jednego z kombajnów monitor operatora podzielony został na 5 pól (dodano kamerę umożliwiającą przesyp z podajnika współpracującego z kombajnem na przenośnik taśmowy. Rozwiązanie zostało zastosowane na 7 kombajnach chodnikowych.

3. Podsumowanie

W dającej się przewidzieć przyszłości, zautomatyzowane czy w pełni autonomiczne drążenie chodnika lub tunelu bez udziału ludzi nie będzie możliwe ze względu m.in. na konieczny udział ludzi przy zabezpieczaniu wydrążonego odcinka wyrobiska.

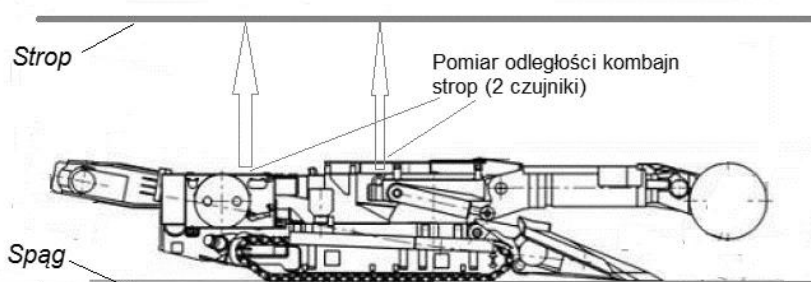
2-punktowe zdalne sterowanie kombajnem chodnikowym, przynajmniej dla kontroli wymaga, cyklicznego kontrolowania kierunku drążenia i zadanego profilu (lub nachylenia przodka). Przy wyniesieniu stanowiska operatora-kombajnisty na odległość uniemożliwiającą wzrokową kontrolę procesu urabiania najprostszym rozwiązaniem byłoby wyposażenie kombajnu w techniczne środki obserwacji (np. kamery), które pozwolą mu obserwować zdalnie proces. Pozwoliłoby to także zdalną kontrolę zachowania się przodka (stopień wyczyszczenia, ewentualne opady czy drobne obwały). Są to rozwiązania stosunkowo proste.

Położenie kombajnu względem istniejących ociosów wyrobiska i jego stropu można kontrolować na bieżąco za pomocą prostych czujników odległości (rys. 6 i rys. 7).



Rys. 6. Idea pozycjonowania kombajnu istniejących względem ociosów wyrobiska
[opracowanie własne]

Uwzględnienie profilu ociosu wymaga, oprócz czujników, oprogramowania uwzględniającego profil ociosu (np. występowanie profili obudowy).



Rys.7. Pozycjonowanie kombajnu chodnikowego względem istniejącego układu odniesienia (stropu wyrobiska) [opracowanie własne]

Wyposażenie kombajnu w układ kamer umożliwiających zdalną obserwację procesu urabiania pozwala na zapewnienie operatorowi kombajnu kontrolę procesu urabiania, w połączeniu z pomiarem ustawienia kombajnu stwarza możliwość poprawnego drążenia chodnika. Dodatkowym punktem odniesienia może być plamka promienia lasera na czole wyrobiska. Takie rozwiązania są powszechnie stosowane w czasie drążenia wyrobisk korytarzowych także w innych technologiach drążenia przy wierceniu przodka lub ustawianiu obudowy podporowej, zastępując stosowane powszechnie w naszych kopalniach tzw. „godziny”.

3-punktowy system zdalnego sterowania jest znacznie bardziej skomplikowany i wymaga precyzyjnego ustalenia punktu odniesienia – warunkach dołowych stabilizacja takiego punktu czy układu odniesienia jest pracochłonna. Ponadto w sąsiedztwie kombajnu występują liczne urządzenia i systemy towarzyszące utrudniające. O ile w układzie 2-punktowego zdalnego sterowania z obserwacją za pomocą kamer kombajnista-operator jest w stanie wprowadzać korekty za pomocą znanych mu i prostych metod to w metodzie 3-punktowej korekta związana

np. ze zmianą zalegania pokładu będzie wymagała zupełnie innego podejścia (bo to istotnie zmiana przestrzenna) nowych umiejętności kombajnisty i być może udziału innej osoby o zupełnie innych kompetencjach.

3-punktowe zdalne sterowanie kombajnem chodnikowym jest dziś możliwe do zastosowania przy drążeniu wyrobisk korytarzowych (chodników i tuneli) o ściśle zaprogramowanym kierunku i nachyleniu drążenia. Takie wyrobiska w kopalniach węgla kamiennego i to drążone kombajnami chodnikowymi są niezwykle rzadkie. Należy także uwzględnić, w przypadku lokalnego wystąpienia skał trudno-urabialnych i konieczność wspomagania się urabianiem materiałem wybuchowym – w takiej sytuacji kamery zdjąć łatwo. Ich ponowna zabudowa nie wymaga precyzyjnego ustawiania – należy ustawić tylko pole widzenia kamery (kamer).

W 3-punktowym zdalnym sterowaniu istotnym elementem są układy pozycjonowania kombajnu i organu – są to układy kluczowe dla całego systemu zdalnego sterowania i kosztowne. Należy postawić pytanie czy w świetle wskazanych uwarunkowań klienci potrzebują dzisiaj takich rozwiązań? Doświadczenie kopalń węgla w Meksyku wskazuje, że chodzi o przeniesienie kombajnisty-operatora w bezpieczne miejsce i zapewnienie mu warunków obserwacji urabiania. Przy stabilnym i znanym (co cykl-skrów) ustawieniu kombajnu nawet przy braku kamer kombajniście wystarczyłaby informacja o ustawieniu organu w stosunku do widocznego na ekranie zadanego przekroju przodka.

3-punktowe zdalne sterowanie kombajnem chodnikowym ma uzasadnienie w drodze do w pełni automatycznego drążenia całkowicie bez obecności człowieka w przodku.

Wymaga to jednak rozwiązania problemów związanych z:

- automatyzacją procesu wykonywania obudowy lub kotwienia przodka,
- opracowaniem sensorów pozwalających informować o i reagować na zmiany zalegania w przodku (np. zmiana nachylenia, miąższości pokładu),
- opracowanie sensorów informujących o zmianach w procesie drążenia np. obwałach w przodku.

Bez rozwiązania tych problemów trójpunktowe systemy zdalnego sterowania będą miały co najwyżej ograniczone zastosowanie (ze wspomnianych powodów nie w robotach przygotowawczych w kopalniach węgla kamiennego) i znacząco podniosą koszty wytworzenia nowych urządzeń oraz koszty drążenia. Potwierdza to przykład kopalń meksykańskich, gdzie ostatecznie zastosowano sterowanie 2-punktowe, mimo prób sterowania trójpunktowego.

Literatura

1. Halama P., Loska P., Szymała P.: System radiowego sterowania RSKID dla kombajnu chodnikowego KID-220MP. Dokumentacja EMAG 2013.
2. Jagiełło A., Nowak P.: Wpływ wprowadzania nowych rozwiązań technicznych i technologicznych na bezpieczeństwo pracy. „Napędy i Sterowanie” 7–8/2011.
3. Korczyński M., Złotos J.: Układy sterowania i napędowe kombajnów chodnikowych produkowanych przez WAMAG. „Napędy i Sterowanie” 7–8/2011.
4. Korsi J., Korsi W.: Underground mine as a system of processes. „Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering” 02/2015 (electronic edition).

5. Kotwica K., Klich A.: Maszyny i urządzenia do drążenia wyrobisk korytarzowych i tunelowych. Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2011.
6. Krick E.: Wprowadzenie do techniki i projektowania technicznego. Seria: Problemy i metody techniki. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1972.
7. Praca Zbiorowa: Leksykon Górniczy. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1989.
8. Praca Zbiorowa [Klich A. – red.]: Maszyny i urządzenia dla inżynierii budownictwa podziemnego. Wyrobiska korytarzowe i szybowe w górnictwie. „Śląsk” Sp. z o.o., Wydawnictwo Naukowe, Katowice 1999.
9. Przybyła H., Chmiela A.: Technika i organizacja w robotach przygotowawczych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
10. Szymała P., Loska P., Molenda T., Smyła J.: RSKID – system radiowego sterowania dla kombajnów chodnikowych typu KID-220MP. „Napędy i Sterowanie”, Nr 7/8 I Lipiec–Sierpień 2015 r.
11. Zając E.: Organizacja produkcji w kopalni węgla kamiennego. Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1994.

Dyspozytornia Zakładu Górniczego Sobieski TAURON Wydobycie S.A. jako przykład nowoczesnych systemów i rozwiązań w zakresie monitorowania zagrożeń i procesu produkcyjnego

Jacek Dubrowski - TAURON Wydobycie Zakład Górniczy Sobieski

Streszczenie: Dyspozytornia zakładu górniczego jest miejscem szczególnym, w którym poprzez wykorzystanie dostępu do wielu systemów teletransmisyjnych, zapewnia się pełny nadzór nad bezpieczeństwem prowadzenia ruchu, a w szczególności nad bezpieczeństwem pracującej załogi. W oddanej do użytku w 2015 r. dyspozytorni Zakładu Górniczego Sobieski, zastosowano szereg rozwiązań, których zadaniem jest monitorowanie zagrożeń naturalnych oraz procesu produkcyjnego. Uruchomione systemy można podzielić na systemy łączności i alarmowania, systemy teletransmisyjne, systemy wspomagania pracy dyspozytora, tablice synoptyczne i systemy dodatkowe. Ważną cechą tych rozwiązań jest możliwość ich dalszej rozbudowy zarówno w warstwie sprzętowej, jak i programowej. Istotną zaletą jest możliwość współpracy z systemami wizualizacji dostarczanych przez producentów maszyn i urządzeń oraz możliwość transmisji danych do coraz popularniejszych smart serwisów. W rozdziale omówiono podstawowe typy i sposób działania zastosowanych systemów, oraz określono dalsze perspektywy ich rozwoju. Przedstawiono również podstawowe wymagania niezbędne dla prawidłowego wdrażania systemów wizualizacji dostarczanych wraz z maszynami i urządzeniami.

Dispatcher room of Sobieski Mining Plant - TAURON Wydobycie S.A. as an example of state-of-the-art systems and solutions in monitoring the possible hazards and the production process

Abstract: Dispatch office is a special place which provides, with the use of teletransmission system, full supervision over the traffic management and the important safety of the working crew. In the dispatching room of Sobieski Mining Plant, put for use in 2015, we used a range of solutions for monitoring natural threats and production process. Systems which are used here can be divided into communication-alarm systems, transmission systems, dispatcher support systems, synoptic tables and additional systems. Important attribute of this solutions is possibility of their further expansion both in hardware and software layer. The essential advantage is an ability to cooperate with visual systems provided by equipment manufacturers and capability of data transmission to the increasingly popular smart services. The paper discusses basic types and action mechanisms in applied systems and determines further prospects of their actions. It also presents basic requirements essential for proper implementation of visualisation systems supplied with machines and devices.

1. Wprowadzenie

TAURON Wydobycie Zakład Górniczy Sobieski w 2015 r. po okresie dwuletnich prac montażowych oddał do użytku urządzenia nowej centrali telefonicznej i dyspozytorni zakładowej. Urządzenia zostały uruchomione w specjalnie dla tego celu przygotowanym budynku starej cechowni zakładu górniczego, zlokalizowanym na rejonie zakładu zwanym Sobieski. Decyzja o budowie nowych urządzeń podstawowych dyspozytorni zakładowej i centrali telefonicznej była podyktowana głównie względami bezpieczeństwa ruchu zakładu górniczego. W zdecydowany sposób ograniczono możliwość powstawania przerw w łączności spowodowanych kradzieżami kabli, które spędzają sen z powiek w latach poprzednich. Tak

bowiem zaprojektowano w latach 80-tych dyspozytornie zakładową, że obsługiwała ona trzy rejonu byłej KWK Jaworzno, sama będąc zlokalizowaną w odrębnym i odległym od tych rejonów budynku dyspozytorni w centrum miasta Jaworzna. Ten ponad trzydziestoletni układ należało w końcu dostosować do zmienionej z biegiem lat infrastruktury zakładu.

2. Podstawowe informacje dotyczące zastosowanych rozwiązań w odniesieniu do obowiązujących regulacji prawnych

Dyspozytornia zakładowa ZG Sobieski będąc jednym z tzw. podstawowych obiektów w ruchu zakładu górniczego, została tak zaprojektowana i wykonana aby spełniać szereg wymogów określonych w takich aktach prawnych, jak:

- Ustawa Prawo geologiczne i górnicze z dnia 9 czerwca 2011 r. (Dz. U. z 2011 r. nr 163, poz. 981 z późn. zm.) wraz z aktami wykonawczymi.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz.U. z 2002 r. nr 139, poz.1169 z późn. zm.).
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 kwietnia 2004 r. w sprawie dopuszczenia wyrobów do stosowania w zakładach górniczych (Dz.U. Nr 99, pozycja 1003).
- Ustawa z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności (tekst jednolity: Dz. U. z 2010 r. nr 138, pozycja 935 z późn. zm.).

Zakład Górniczy Sobieski należy do grupy zakładów górniczych nie zagrożonych wybuchem metanu i klasy A zagrożenia wybuchem pyłu węglowego. Podstawowymi wymaganiami jakie należało spełnić były więc w szczególności zapisy:

• § 636 ust.2 Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz.U. z 2002 r. nr 139, poz.1169 z późn. zm.), którego treść zbliżona jest do treści pkt.3.4.9 załącznika nr 1 do rozp. RM z dnia 30.04.2004 (Dz.U. Nr 99, poz.1003), a mianowicie:

Oprogramowanie i dane w systemach łączności, alarmowania, bezpieczeństwa i wspomagania pracy służb dyspozytorskich oraz innych układów funkcjonujących na podstawie technik informatycznych chroni się w następujący sposób:

- 1) systemy pracują w wydzielonych sieciach,
- 2) dostęp do danych z tych systemów jest możliwy wyłącznie w obrębie zakładu górniczego, przy czym:
 - a) dane udostępnia się z wydzielonego serwera „lustrzanego”, na który systemy te będą przysyłać informacje w układzie jednokierunkowym bez możliwości dostępu do systemów podstawowych,
 - b) dostęp do oprogramowania systemów jest możliwy jedynie ze stanowisk zabudowanych wewnątrz sieci podstawowej, a system będzie zapisywał automatycznie wszystkie czynności dokonywane z tych stanowisk,

- 3) nadzór serwisowy producenta nad eksploatowanym w zakładach górniczych sprzętem (systemami komputerowymi) realizuje się bezpośrednio na terenie zakładu górnego. W przypadku konieczności zdalnego nadzoru, kanał łączności konfiguruje ręcznie pracownicy obsługi zakładu górnego po telefonicznym uzgodnieniu przez serwis producenta, natomiast połączenie i dokonane czynności zostaną automatycznie odnotowane w systemie,
- 4) sposób zabezpieczenia, o którym mowa w pkt. 3, zatwierdza kierownik ruchu zakładu górnego.

• pkt.3.4.7 załącznika nr 1 do rozp. RM z dnia 30.04.2004 (Dz.U. Nr 99, poz.1003)

Poszczególne systemy bezpieczeństwa powinny zapewniać możliwość rejestrowania i archiwizowania danych oraz przedstawiania ich dyspozytorowi. W przypadku, gdy moc obliczeniowa systemu jest zbyt mała lub konieczne jest przedstawienie danych z kilku systemów, może być zainstalowany dodatkowo system wspomagania dyspozytora składający się z urządzeń i oprogramowania, służących dyspozytorowi bezpośrednio do nadzorowania ruchu zakładu górnego. System taki powinien spełniać następujące wymagania:

- umożliwić ergonomiczny sposób obsługi oraz przedstawiania informacji, uwzględniający możliwości percepcyjne dyspozytora,
- umożliwiać współpracę poszczególnych systemów poprzez przekazywanie sygnałów w sposób automatyczny z akceptacją dyspozytora lub nie,
- zapewnić synchronizację czasu rzeczywistego w poszczególnych systemach bezpieczeństwa, łączności i alarmowania,
- zapewnić priorytet dla sygnałów ostrzegawczych i alarmowych,
- umożliwiać archiwizację danych, co najmniej w zakresie wymaganym przepisami w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych na dyskach twardych i zewnętrznych nośnikach informacji.

3. Zastosowane rozwiązania

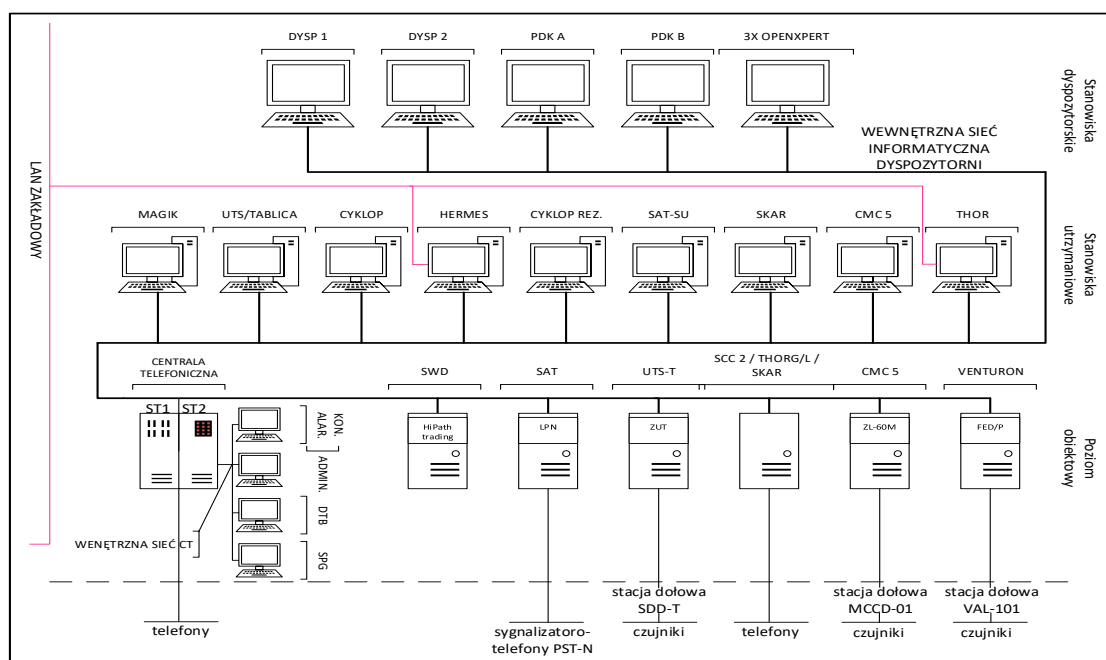
Strukturę połączeń w systemie dyspozytorskim pokazano na rysunku 1. Można w niej wyróżnić trzy podstawowe poziomy pracy:

- stanowiska komputerowe dla potrzeb dyspozytorów ruchu obejmujące stanowiska nadzoru dyspozytorskiego DYSP1 i DYSP2, sygnalizacji rozgłoszeniowo - alarmowej PDKA i PDKB oraz 3 stanowiska łączności dyspozytorskiej OPENXPRT,
- stanowiska komputerowe dla nadzoru nad systemami,
- poziom obiektowy, na który składają się szafy telemetryczne i sieć dołowa z czujnikami.

Z uwagi na podstawowe funkcje zabudowane systemy można podzielić na kilka grup urządzeń:

- systemy łączności i alarmowania obejmujące:
 - system łączności ogólnozakładowej HiPath 4000,

- system łączności Dyspozytorskiej typu HiPath Trading,
- system rozgłoszeniowo - alarmowy typu SAT,
- system kierowania akcją ratowniczą typu SKAR,
- bezprzewodowy system łączności w przewozie typu MultiCOM.
- systemy teletransmisyjne obejmujące:
 - system Venturon-Micon,
 - UTS-T,
 - SMP_NT/SV oparty o moduł CMC-5,
 - system DEMKop dla potrzeb ewidencji i nadzoru nad ruchem maszyn,
- systemy wspomagania pracy dyspozytora obejmujące:
 - Zefir_NT oraz THOR,
- tablice synoptyczne: wielkoformatowa, mozaikowa,
- systemy dodatkowe obejmujące:
 - systemy telewizji przemysłowej oparte o wideo-rejestratory,
 - systemy synchronizacji czasu.



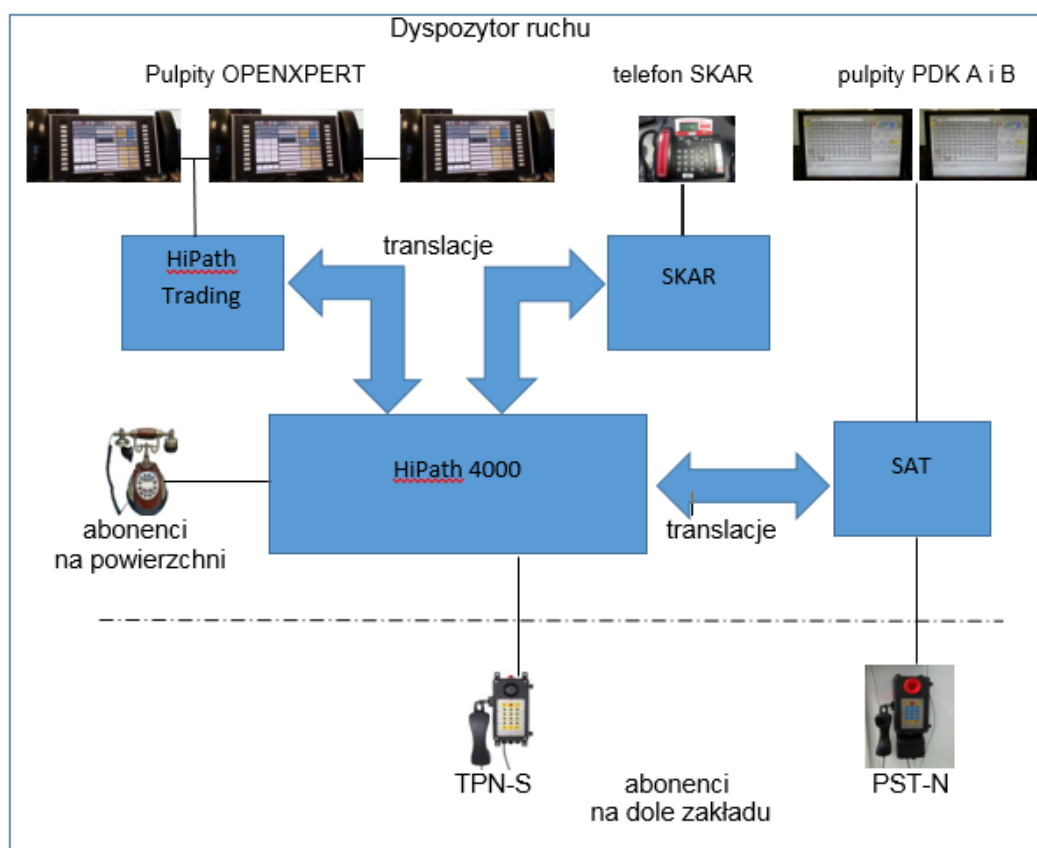
Rys.1. Schemat strukturalny systemów (źródło: opracowanie własne na podstawie [1])

Urządzenia pracują na wewnętrznych sieciach informatycznych, chronionych przed dostępem z zewnątrz czyli np. z ogólnozakładowej sieci LAN. Dystrybucja sygnałów do sieci zakładowej LAN odbywa się za pośrednictwem serwerów lustrzanych Hermes i Thor oraz DemKOP wyposażonych w dwie karty sieciowe, które umożliwiają tylko udzielanie odpowiedzi na zapytania klientów zakładowej sieci LAN. Zapobiega to przesłaniu do wewnętrznej sieci dyspozytorskiej zainfekowanych plików.

Usytuowanie urządzeń na hali urządzeń stacyjnych zakładu pokazano na fotografii 1, natomiast na fotografii 2 przedstawiono pomieszczenie dyspozytorni zakładowej.

3.1. Systemy łączności i alarmowania

Systemy łączności i alarmowania tworzą jednolitą platformę telekomunikacyjną, zapewniającą świadczenie usług głosowych w warunkach normalnej pracy i w sytuacjach awaryjnych. Schemat współpracy pokazano na rysunku 2. Podstawą platformy jest system HiPath 4000 v.6 zapewniający komutację i translację połączeń dla systemu SAT, systemu HiPath Trading oraz SKAR.



Rys.2. Schemat współpracy systemów łączności i alarmowania

3.1.1. System łączności ogólnozakładowej HiPath 4000

Zapewnia on w pełni potrzeby zakładu w zakresie łączności głosowej pomiędzy pracownikami zatrudnionymi na powierzchni i dole zakładu. System HiPath 4000 zarządza podsystemem łączności dyspozytorskiej HiPath Trading, systemem kierowania akcją ratowniczą SKAR oraz współpracuje z systemem alarmowo-rozgłoszeniowym SAT, dla których przydziela plan numeracyjny i dostarcza usługi komutacyjne. Duża funkcjonalność pozwala na obsługę wielu protokołów telekomunikacyjnych i podłączanie wielu typów urządzeń abonenckich. Urządzeniami centrali zarządza dedykowane stanowisko administracyjne ADMIN. Główne stanowisko zarządzania systemu OPER umożliwia wykonywanie szeregu działań operatorskich oraz diagnostycznych związanych z pracą centrali.

Oprócz stanowiska ADMIN do sieci wewnętrznej centrali systemu HiPath 4000, podłączone są komputery: książki telefonicznej DBT, poczty głosowej SPG, diagnostyki i alarmowania ALM.



Fot.1. Hala urządzeń stacyjnych (źródło: materiały własne)



Fot.2. Widok pomieszczenia dyspozytorni zakładowej (źródło: materiały własne)

Centrala systemu HiPath 4000 umożliwia współpracę wielu typom urządzeń abonenckich obsługę typów aparatów analogowych z wybieraniem impulsowym i tonowym oraz aparatów cyfrowych systemowych. Zabudowane aparaty systemowe to m.in. aparaty z serii: optiset, optiPoint, OpenScape wraz z dedykowanymi przystawkami. Na dole zakładu zainstalowane są m.in. aparaty telefoniczne typu TPN-S.

3.1.2. System łączności dyspozytorskiej HiPath Trading

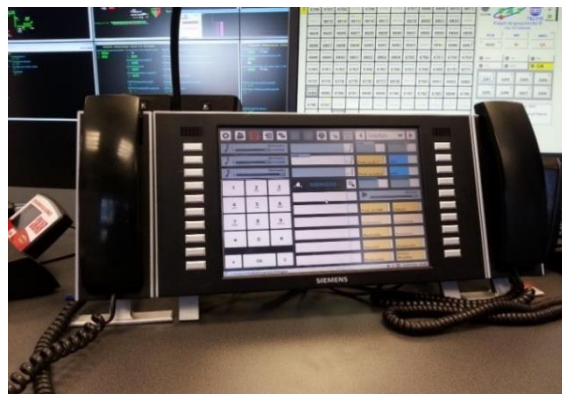
System łączności dyspozytorskiej HiPath TRADING jest integralną częścią systemu Hipath 4000. Zapewnia on dyspozytorowi ruchu niezależne od innych abonentów zakładowych uzyskiwanie połączeń z wybranymi stanowiskami pracy zakładu oraz z sieciami dwóch operatorów publicznych. System HiPath TRADING umożliwia m.in.:

- korzystanie z elektronicznej książki telefonicznej,
- identyfikację abonenta dzwoniącego,
- priorytet połączeń,

- zestawianie konferencji (do 20 uczestników wewnętrznych lub zewnętrznych),
- włączanie się dyspozytora na dowolne łącze,
- ręczne lub automatyczne blokowanie połączenia,
- przełączanie rozmów,
- blokowanie podsłuchu na łączach.



Fot.3. Serwery systemu HiPath Trading w szafie SWD (źródło: materiały własne)



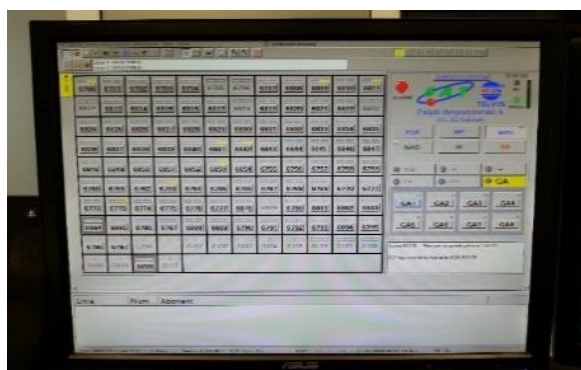
Fot.4. Dotykowy panel łączności dyspozytorskiej OpenXpert (źródło: materiały własne)

3.1.3. System łączności alarmowo-rozgłoszeniowej typu SAT

System dyspozytorski alarmowo - rozgłoszeniowy typu SAT jest systemem pozwalającym na realizację automatycznej łączności telefonicznej oraz specjalnej dyspozytorskiej łączności głośnomówiącej, umożliwiającej szybkie przekazywanie informacji pomiędzy załogą dołową i dyspozytorem kopalni o występujących stanach zagrożeń górniczych, rozgłaszanie komunikatów w sytuacjach alarmowych oraz przekazywanie informacji i poleceń w trakcie normalnej eksploatacji w zakładzie górniczym.

System SAT zarządzany jest ze stanowiska utrzymaniowego SAT-SU, które pozwala na zmiany konfiguracji systemu SAT, takie jak ilość i skład grup abonenckich, wyznaczenie wejść dwustanowych PST i urządzeń zewnętrznych, uruchamiających grupy alarmowe itp. Dostęp do stanowiska utrzymaniowego jest chroniony hasłem.

Stanowiskami dyspozytorskimi w systemie SAT (fot. 5) są komputery PC, pracujące systemem Windows. Komputery te muszą być wyposażone w dwukanałowe karty dźwiękowe z dołączonym układem rozmownym, złożonym z mikrofonu, mikrofonu i kompletu głośników komputerowych. Pozwalają one dyspozytorowi na prowadzenie konwencjonalnych rozmów telefonicznych z wykorzystaniem centrali telefonicznej zakładowej lub centrali operatora publicznego.



Fot.5. Monitor stanowiska dyspozytorskiego SAT liniowych (źródło: materiały własne)

3.1.4. System kierowania akcją ratowniczą typu SKAR

Centrala telefoniczna systemu telekomunikacyjnego HiPath 4000 współpracuje poprzez translacje analogowe oraz trakt cyfrowy z systemem łączności do kierowania akcją ratowniczą typu SKAR, który jest nowoczesnym, wysokiej klasy rozwiązaniem opartym o centralę firmy Slican typu IPL-256 zapewniającą niezależną łączność dla kilkudziesięciu stanowisk nadzoru i kierowania akcją ratowniczą prowadzoną w różnych rejonach zakładu. Zgodnie z obowiązującymi przepisami system zapewnia rejestrację oraz nasłuch rozmów prowadzonych przez kierownika akcji, współpracuje z urządzeniami łączności ratowniczej. System wysyła powiadomienia za pomocą SMS-ów do osób które są obowiązane do uczestnictwa w akcji ratowniczej zgodnie z planem ratownictwa. Urządzenia stacyjne systemu zasilane są z układu napięcia gwarantowanego.

3.1.5. System łączności w przewozie typu MultiCOM

System łączności bezprzewodowej typu MultiCOM jest systemem wykorzystywanym dla potrzeb służb utrzymania ruchu w przewozie dołowym. Jest to szerokopasmowy system radiolączności w paśmie pracy od 150 MHz do 176 MHz. Zapewnia on prowadzenie rozmów oraz stanowi podstawę systemu identyfikacji ruchu maszyn. Urządzenia nadają w paśmie -176 MHz i odbierają w paśmie 155-159 MHz. Transmisja w paśmie 172-176 MHz jest przesyłana przez kabel ciekący do konektora zabudowanego w stacji bazowej na powierzchni. Konektor odbiera sygnały o danej częstotliwości, retransmituje je w paśmie częstotliwości 155-159 MHz i przesyła z powrotem kablem ciekącym na dół kopalni. Wszystko odbywa się w czasie rzeczywistym. Zakład wykorzystuje 5 kanałów rozmówczych (fot. 6), z czego 4 są dla potrzeb pracowników oddziałów przewozowych, a jeden dla osób dozoru. Dostęp do kanałów rozmówczych posiada również dyspozytor zakładu, który w razie potrzeby jest w stanie nawiązać łączność z obsługą pojazdu celem zweryfikowania lokalizacji na dole zakładu. Systemem łączności bezprzewodowej objęte zostały wszystkie ciągniki spalinowe oraz lokomotywy trakcyjne na dole. System obejmuje 25 km wyrobisk dołowych.



Fot.6. Zdjęcie przedstawia zespół 5 nad/odb. kanałowych (źródło: materiały własne)

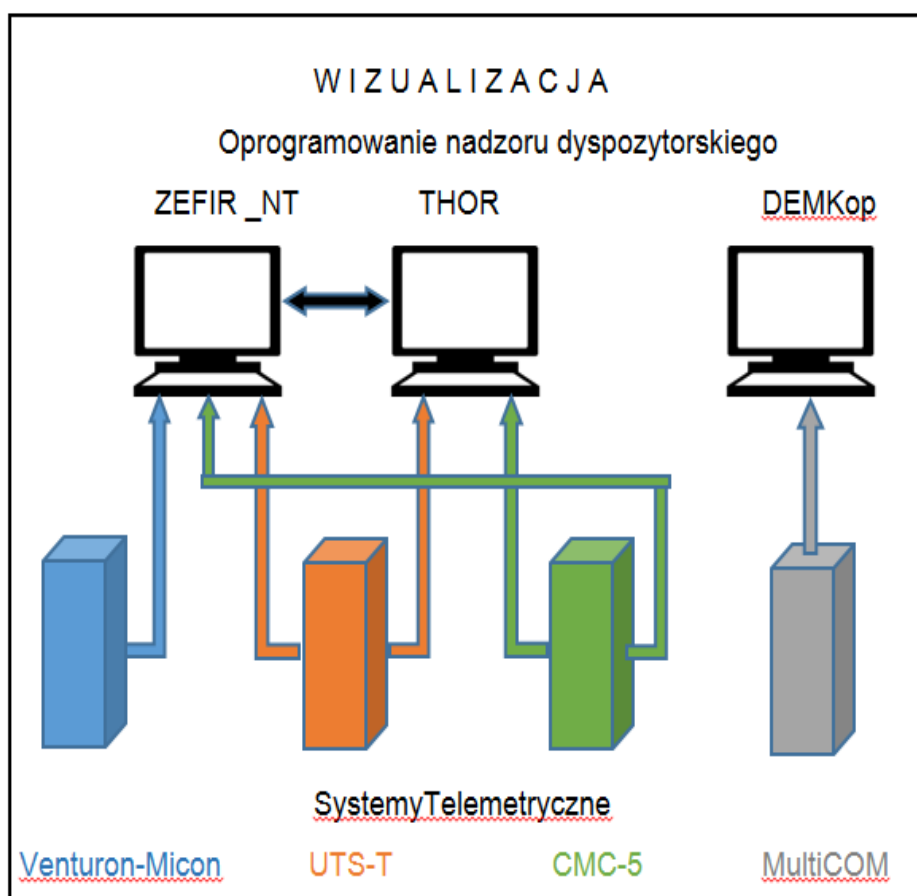
3.2. Systemy teletransmisyjne

Systemy teletransmisyjne zapewniają podstawowe potrzeby w zakresie monitorowania parametrów pracy urządzeń i maszyn oraz parametrów bezpieczeństwa związanych ze składem powietrza. Systemy współpracują zarówno z czujnikami analogowymi, jak i dwustanowymi. Realizacja procesu monitorowania odbywa się na kilku poziomach.

Finalny obraz stanu pracy parametru jest wynikiem przetworzenia informacji od czujnika kontrolnego w danym systemie telemetrycznym i przesłania informacji o jego stanie do współpracujących systemów wizualizacyjnych zwanych również systemami nadzoru dyspozytorskiego.

Na rysunku 3 pokazano obieg informacji w systemach telemetrycznych i ich wzajemną współpracę.

System Venturon-Micon poprzez złącze RS dostarcza dane bezpośrednio do programu Zefir_NT. Systemy UTS-T oraz SMP-NT/SV poprzez sieć wewnętrzną dyspozytorską współpracują z programami Zefir_NT oraz Thor. Wzajemna wymiana danych pomiędzy Zefir_NT, a programem Thor zapewnia bezpieczeństwo prezentacji danych na pulpitych dyspozytorskich i tablicy synoptycznej wielkoformatowej.



Rys.3. Schemat przepływu informacji w systemach telemetrycznych
(źródło: opracowanie własne na podstawie [1])

Odrębnym elementem jest system MultiCOM z aplikacją DEMKop, który pomimo, że nie jest włączony do wewnętrznej sieci dyspozytorskiej (rys. 1), prezentuje dane w dyspozytorni na monitorze stanowiska komputerowego bezpośrednio podłączonego do szafy telemetrycznej systemu.

Podstawowe parametry monitorowane w zakresie pracy maszyn i urządzeń:

- zmiana stanu logicznego czujnika,
- ilość zmian stanu logicznego czujnika,
- czas pracy urządzenia,
- rzeczywisty czas pracy jako iloczyn logiczny wybranych parametrów związanych z danym urządzeniem lub grupą urządzeń np. kompleks ścianowy,
- temperatura pracy elementów układu mechanicznego,
- poziom cieczy i materiałów sypkich w zbiornikach,
- ciśnienie i prędkość przepływu cieczy,
- położenie obiektu np. kolejki podwieszanej w wyrobisku dołowym,
- masa materiałów sypkich,
- wartości prądów i napięć.

Monitorowane parametry w zakresie parametrów i składu powietrza:

- zawartość tlenu, tlenku węgla oraz dwutlenku węgla i innych gazów według potrzeb,
- prędkość przepływu powietrza w wyrobiskach,
- ciśnienie powietrza w wyrobiskach dołowych,
- zmiana stanu logicznego czujnika np. otwarcie lub zamknięcie tam wentylacyjnych,
- pomiar różnicy ciśnień np. przed i za tamami wentylacyjnymi dla kontroli ich zamknięcia.

3.2.1. System UTS-T

System typu UTS-T jest systemem do transmisji typu FSK sygnałów dwustanowych informujących o stanie pracujących pod ziemią czujników umożliwiającym rejestrację i przekazywanie informacji do systemów wizualizacji opartych o systemy Zefir_NT, Thor oraz tablic synoptycznych mozaikowych.

W skład systemu wchodzi:

w części powierzchniowej:

- stacja powierzchniowa typu SP UTS-T/UST o pojemności 32 kanałów, wraz z urządzeniem sterowania tablicą synoptyczną typu UST oraz stanowiskami utrzymaniowymi podstawowym i rezerwowym,
- wyniesiony pulpit utrzymaniowy UTS/Tablica w pomieszczeniu konserwatorów,
- w części dołowej:
- stacje dołowe dwustanowe typu SDD-T.
- czujniki dwustanowe np. CPE, styki bez potencjałowe.

System UTS umożliwia:

- przekazywanie do systemu wizualizacji informacji o stanie czujników dwustanowych z wyjściem typu izolowany styk,
- przekazywanie do systemu wizualizacji informacji o stanie czujników dwustanowych typu CP-E,
- sterowanie urządzeniami wykonawczymi za pośrednictwem izolowanego styku,
- wykrywanie i lokalizację usterki typu uszkodzenie kabla łączącego czujnik ze stacją dołową systemu UTS-T,
- wykrywanie i lokalizację uszkodzenia kabla łączącego poszczególne stacje dołowe ze sobą i ze stacją powierzchniową systemu.

Do jednej linii możliwe jest dołączenie ośmiu stacji dołowych wstępnie koncentrujących dane z czterech czujników odległych od niej nawet o 500 m. Długość całej linii telekomunikacyjnej może dochodzić do 10 km. Pozwala to na łatwe dołączenie do linii telekomunikacyjnej każdego czujnika, z którego dane należy przesłać na powierzchnię.

System UTS-T został wyposażony w mechanizmy kontroli ciągłości i zwarcia linii oraz sprawności poszczególnych stacji dołowych. Właściwość ta czyni system łatwym w utrzymaniu oraz nie powoduje sytuacji błędnego działania systemu bez sygnalizacji tego stanu. Strukturę układu pokazano na rysunku 4.

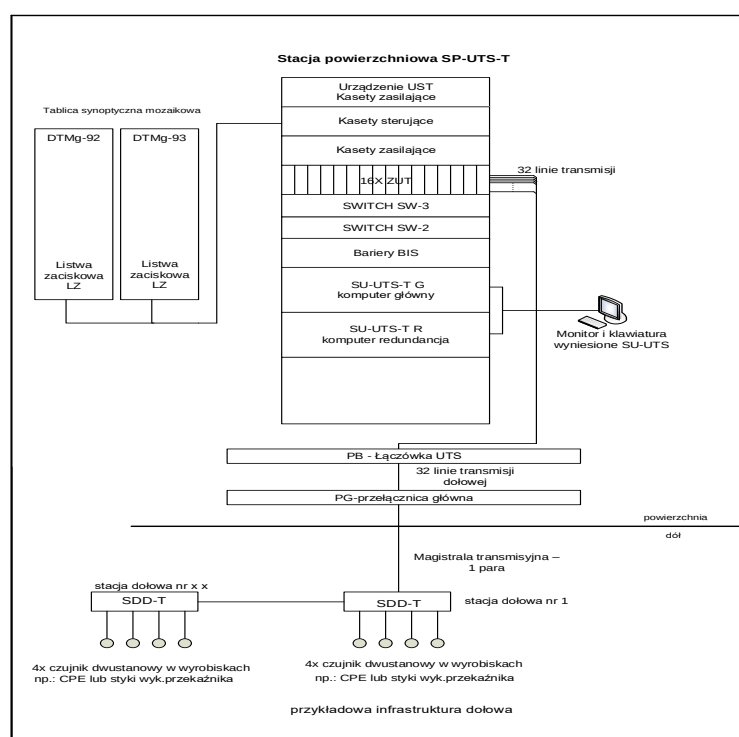
Do połączenia stacji powierzchniowej systemu UTS-T ze stacjami dołowymi wykorzystywana jest sieć telekomunikacyjna zakładu górniczego. Stacja powierzchniowa wyposażona jest w wyjścia umożliwiające dołączenie do niej do 32 linii telekomunikacyjnych.

Transmisja sygnału od czujnika do stacji powierzchniowej odbywa się dwoma etapami. Pierwszy etap to przekazanie informacji od czujnika do stacji dołowej oraz drugi, przekazanie informacji od stacji dołowej do stacji powierzchniowej.

Rozpoznawanie stanu czujnika dołączonego do stacji dołowej dwustanowej odbywa się na zasadzie badania przez stację jak wielkie obciążenie prądowe wnosi układ czujnika do wyjścia stacji. Wyjście czujnika może być więc w postaci izolowanego styku lub układu elektronicznego ustalającego pobór prądu przez czujnik w zależności od jego stanu.

Transmisja pomiędzy stacjami dołowymi a stacją powierzchniową odbywa się z wykorzystaniem sygnałów FSK w trybie rozdzielczo-czasowym. Protokół transmisji pozwalający na bezkolizyjne przekazywanie informacji pomiędzy stacją powierzchniową, a stacjami dołowymi jest oparty o system odpytywania poszczególnych stacji dołowych, którym przyporządkowano kolejne adresy własne. Każdej stacji dołowej dwustanowej oraz wykonawczej przypisany został jeden adres.

Do jednej linii telekomunikacyjnej możliwe jest dołączenie do ośmiu stacji dołowych dwustanowych SDD-T lub stacji wykonawczych SDW-T. Każda z dołączanych do wspólnej linii telekomunikacyjnej stacji dołowych posiada ustawiony inny adres własny, który determinuje również nr kanału.



Rys.4. Schemat strukturalny systemu UTS-T (źródło: opracowanie własne na podstawie [1])

W stacji powierzchniowej do obsługi linii telekomunikacyjnych przeznaczonych jest 16 bloków ZUT-T. Jeden blok ZUT obsługuje dwie linie telekomunikacyjne. Każdemu blokowi ZUT-T odpowiada jeden blok iskro bezpiecznej separacji BIS, który pozwala na zdalne zasilanie stacji dołowych oraz zapewnia warunki iskro bezpiecznej pracy systemu. Na fotografii 7 pokazano fragment szafy stacyjnej systemu UTS-T z panelami ZUT-T.

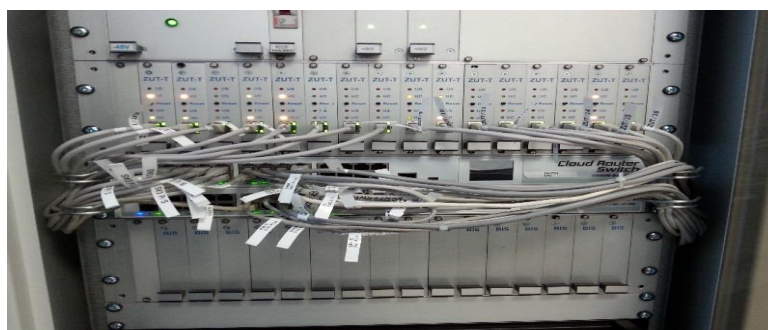
Stacja dołowa dwustanowa typu SDD-T przeznaczona jest do zbierania danych o stanie pracy czujników dwustanowych.

Stacja SDD-T umożliwia:

- przekazywanie stanu czterech czujników dwustanowych podłączonych do jej wejść,
- wykrywanie stanu czujników dowolnego typu z wyjściem typu izolowany styk,
- zdalne zasilanie oraz wykrycie stanu czujnika dwustanowego typu CP-E lub innego z wyjściem tranzystorowym,
- zdalne zasilanie dowolnego czujnika dwustanowego jeżeli jego zapotrzebowanie przekracza 6 V i 500 μ A,
- galwaniczną separację układów czujników podłączonych do stacji od siebie oraz od linii transmisyjnej,
- podłączenie do wyjścia kolejnej stacji SDD-T lub SDW-T,
- wykrywanie uszkodzenia stacji dołączonej do wyjścia linii transmisyjnej lub samego toru transmisyjnego, polegającego na nieprawidłowym poborze prądu z wyjścia stacji,
- automatyczne odłączenie uszkodzonego toru od stacji powierzchniowej i automatyczne jego podłączenie po usunięciu uszkodzenia,
- wykrywanie uszkodzeń typu przerwa /zwarcie pomiędzy czujnikami, a stacją.

Stacje dołowe systemu UTS-T mogą być instalowane w miejscach dostępnych dla obsługi i jednocześnie nie narażonych na silne uderzenia mechaniczne zgodnie ze stopniem ochrony IP 65 w podziemiach kopalń.

Do każdej stacji dołowej dwustanowej SDD-T możliwe jest dołączenie do czterech czujników dwustanowych z wyjściem typu izolowany styk lub klucz elektroniczny (np. CP-E). Połączenia stacji SDD-T z czujnikami jest wykonane typowym kablem sygnalizacyjno-sterowniczym lub telekomunikacyjnym. Wszystkie stacje dołowe systemu zostały umieszczone w obudowach SPI wykonanych z tworzywa sztucznego i spełniających wymogi stopnia ochrony IP-65. Wewnątrz obudowy znajdują się płytki z wyposażeniem elektronicznym i listwy zaciskowe. Każda ze skrzynek posiada dwa wypusty kablowe do wprowadzenia i zadławienia kabli telekomunikacyjnych oraz cztery wpusty kablowe do wprowadzenia i zadławienia kabli łączących stację dołową z czujnikami lub urządzeniami wykonawczymi.



Fot.7. Na zdjęciu zespół odbiorników kanałowych ZUT-T systemu UTS-T (źródło: materiały własne)

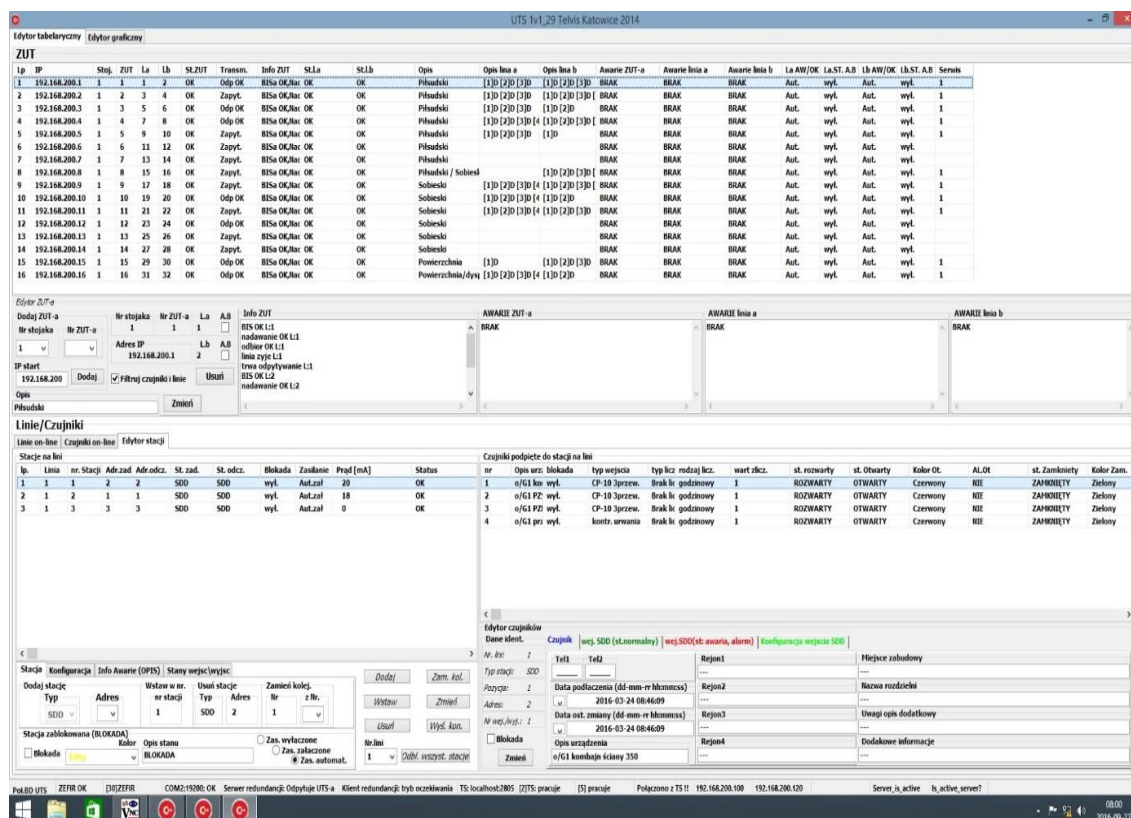
Zarządzanie systemem UTS-T odbywa się ze stanowiska utrzymeniowego, na którym zainstalowano oprogramowanie pozwalające m.in. na obserwację stanu modułów ZUT-T, linii transmisyjnych, stanu pracy stacji dołowych oraz czujników. Program pozwala na dodawanie lub usuwanie modułów ZUT-T, stacji dołowych oraz na zmianę ich opisów. Istotnym elementem programu jest wyświetlanie stanów awaryjnych związanych z pracą modułów ZUT-T, stacjami dołowymi, liniami transmisyjnymi i sterowniczymi.

Na fotografii 8 pokazano okno programu w wersji tabelarycznej, na której widać zakładki: ZUT, w tym edytor ZUT, linie/czujniki, w tym edytor linii pozwalający na podgląd które stacje są podłączone do linii i jakie czujniki są podłączone do stacji. Na fotografii 9 pokazano natomiast edytor graficzny programu pokazujący linie od nr 1 do nr 14 wraz ze stacjami dołowymi (fragment okna).

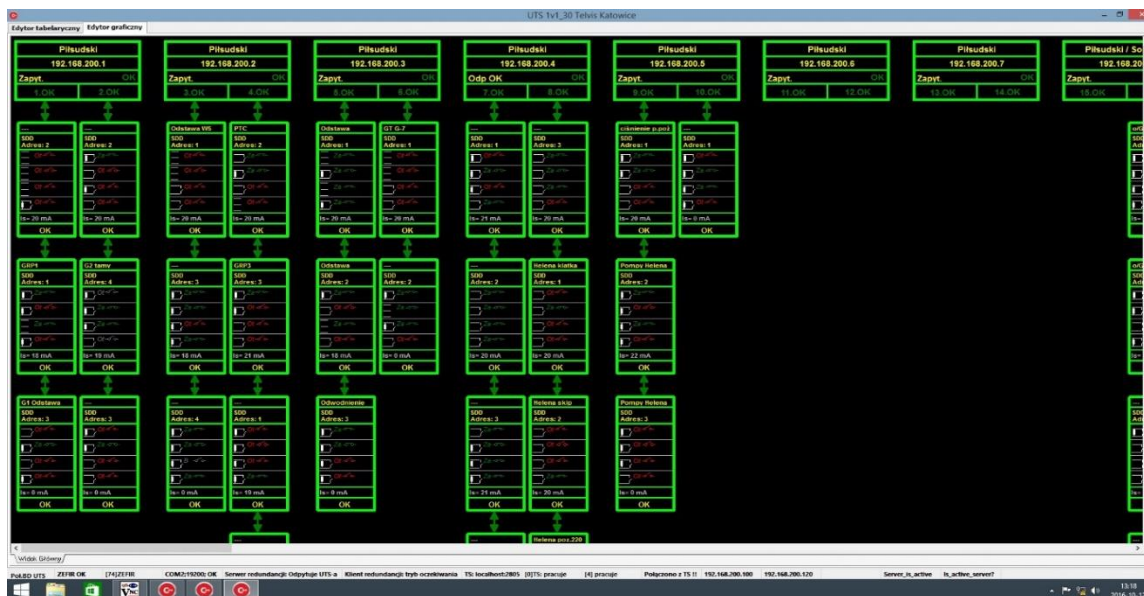
System UTS-T przesyła informację do systemów wizualizacyjnych Zefir_NT oraz Thor.

Wizualizacja na tablicach synoptycznych odbywa się za pomocą urządzenia sterowania tablicą typu UST, które zapewnia współpracę z systemem UTS-T w zakresie odbioru danych z tego systemu i sterowanie tablicą synoptyczną do 1024 diod LED.

Obsługa sposobu i rodzaju czujnika do prezentacji na tablicy synoptycznej odbywa się również ze stanowiska utrzymeniowego za pomocą oprogramowania do zarządzania tablicą synoptyczną.



Fot.8. Zrzut ekranu ze stanowiska utrzymawczego systemu UTS-T(źródło: materiały własne)



Fot.9. Fragment okna edytora tabelarycznego (źródło: materiały własne)

3.2.2. System SMP-NT/SV

Zintegrowany system bezpieczeństwa typu SMP-NT/SV stanowi kompleksowe, zgodne z wymaganiami obowiązujących przepisów, rozwiązanie problemu wizualizacji i monitorowania procesów technologicznych, ewidencji załogi oraz kontroli zagrożeń naturalnych, a także alarmowania o stanach krytycznych. Zakres zastosowań systemu SMP-NT/SV w zakładzie górniczym Sobieski obejmuje:

- ciągły pomiar i monitorowanie wybranych parametrów powietrza umożliwiających wczesne wykrywanie pożarów podziemnych,
- monitorowanie stanu urządzeń wentylacyjnych (tam, wentylatorów głównych i pomocniczych) oraz urządzeń i maszyn ciągów technologicznych.

System bezpieczeństwa SMP-NT/SV składa się z wyposażenia stacyjnego na powierzchni i urządzeń obiektowych na dole zakładu. Wyposażenie stacyjne stanowi:

- konfigurowalna modułowa centrala telemetryczna typu CMC-5, wyposażona w moduł zasilająco-transmisyjny typu MZT-10/60M oraz komputerowy moduł sterujący z oprogramowaniem SEVIS,
- stanowisko komputerowe utrzymaniowe z oprogramowaniem SEMP.

Wyposażenie dołowe stanowią stacje dołowe podłączone liniami kopalnianej sieci telekomunikacyjnej bezpośrednio do zacisków wyjściowych obwodów liniowych modułów zasilająco-transmisyjnych centrali. Na fotografii 10 pokazano fragment szafy z kasetą wyposażenia liniowego typu MZT-10/60M. W kasecie znajdują się zespoły ZL-60M. Jeden zespół obsługuje jedną stację dołową MCCD-01. Centrala CMC-5 ma konstrukcję modułową, którą tworzą:

- kasetę modułów liniowych (zasilająco-transmisyjnych) typu MZT-10/60M,
- komputerowy moduł sterujący (KMS) z oprogramowaniem użytkowym,
- przełączniki sieciowe, routery,
- konwertery mediów transmisji,
- wyposażenie sieciowe do komunikacji z modułami liniowymi i infrastrukturą informatyczną dyspozytorni.

Centrala telemetryczna typu CMC-5 przekazuje dane systemów wspomagania pracy dyspozytora THOR i Zefir_NT.



Fot.10. Kasetę z zespołami liniowymi ZL-60M w centrali telemetrycznej CMC-5 (źródło: materiały własne)

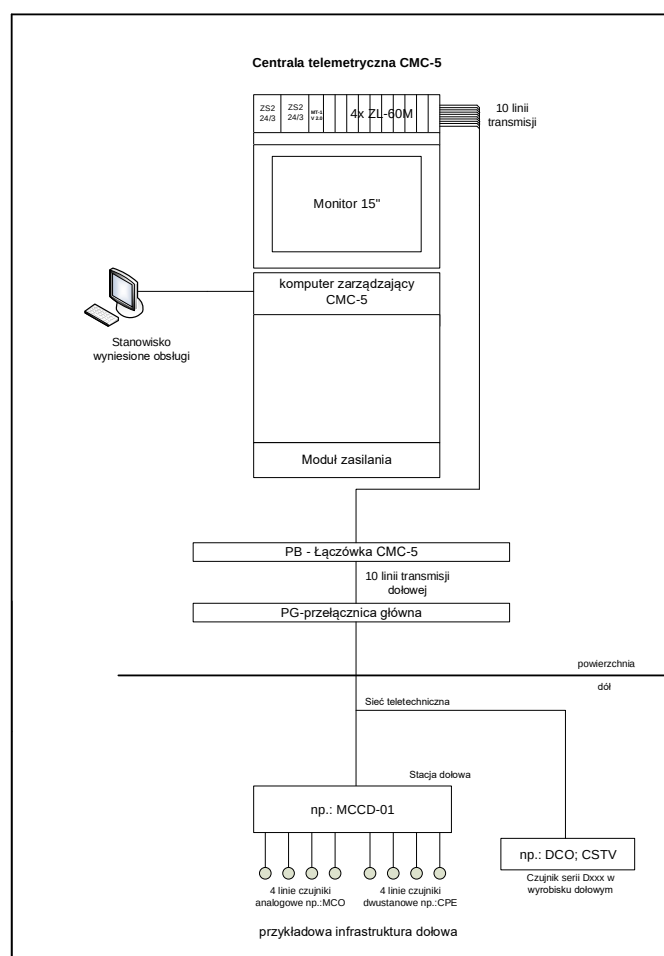
Stacja dołowa typu MCCD-01 (koncentrator) jest dołowym urządzeniem pomiarowo-sterującym stanowiącym interfejs pomiędzy czujnikami analogowymi i dwustanowymi, a centralą telemetryczną systemu monitoringu. Zapewnia ciągły odczyt i przetwarzanie sygnałów analogowych i dwustanowych na sygnał cyfrowy.

MCDD-01 pracujące w zakładzie posiadają następujące rodzaje modułów wejściowych:

- moduł wejść analogowych AI4 (4 wejścia),
- moduł wejść dwustanowych DI8 (8 wejść).

Do MCDD-01 można podłączyć czujniki analogowe pracujące w standardzie 0,4-2 V.

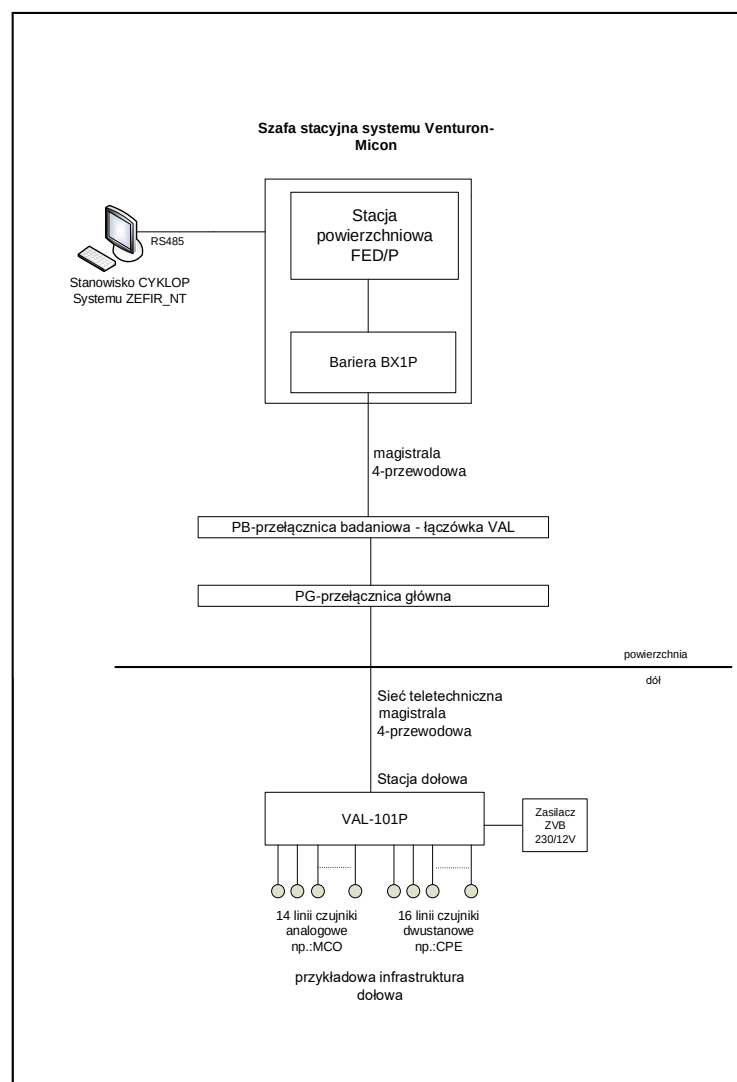
W stacji dołowej MCCD-01 zastosowano alfanumeryczny wyświetlacz LCD o wymiarach 4 wiersze po 20 znaków, zabudowany wewnątrz modułu sterownika. Na ekranie wyświetlacza w regularnych, kilkusekundowych odstępach czasu, pojawia się okno informacyjne i okna wizualizacji aktualnego stanu i danych z poszczególnych modułów. MCDD-01 jest połączona z centralą telemetryczną CMC-5 jedną dwuprzewodową linią, która służy jednocześnie do komunikacji i zdalnego zasilania obwodów elektronicznych wszystkich modułów i podłączonych do niej czujników z kaset typu MZT. Wyposażona jest również w baterię akumulatorów, umożliwiającą podtrzymanie pracy w przypadku uszkodzenia linii zasilająco-transmisyjnej lub wyłączenia napięcia. Czas rozładowania uzależniony jest od ilości podłączonych do stacji czujników analogowych.



Rys.5. Schemat strukturalny systemu SMP_NT/SV (źródło: opracowanie własne na podstawie [1])

3.2.3. System Venturon-Micon

Zainstalowany w dyspozytorni system VENTURON-MICON przeznaczony jest do wczesnego wykrywania zagrożeń pożarowych i wentylacyjnych w wybranych rejonach eksploatacyjnych kopalni. Umożliwia przesyłanie, przetwarzanie i archiwizację danych pomiarowych opisujących stan obiektu, jak również wizualizację tego stanu za pomocą współpracującego z nim systemu Zefir_NT. Na rysunku 6 pokazano schemat strukturalny systemu.



Rys.6. Schemat strukturalny systemu Venturon-Micon (źródło: opracowanie własne na podstawie [1])

Elementami systemu są:

- część stacyjna składająca się z:
 - powierzchniowej stacji transmisji danych typu FED/P do obsługi 2 magistrali transmisyjnych,
 - dwóch barier ochronnych typu BX1P zapewniających iskrobezpieczeństwo systemu,

- sieć transmisji sygnałów obejmująca:
 - czteroprzewodowe magistrale transmisyjne prowadzone w kablach dołowej sieci teletechnicznej (kable miedziane),
 - czteroprzewodowe linie pomiarowo-zasilające, służące do podłączenia czujników analogowych do stacji dołowych typu VAL101P,
 - dwuprzewodowe linie transmisyjne do podłączenia czujników dwustanowych do stacji dołowych VAL101P,

- część dołowa na którą składają się:

- cztery stacje dołowe typu VAL101P,
- czujniki wielkości analogowych: stężenia tlenku węgla (typu MCO,MIC), prędkości (typu AS-3, MPM,TX, dwutlenku węgla i inne według potrzeb w standardzie 0,4-2 V,
- czujniki dwustanowe otwarcia tam wentylacyjnych.

System charakteryzuje się następującymi cechami:

- czujniki analogowe mają jednolity standard sygnału wyjściowego o zakresie 0,4-2 V prądu Stałego (sygnał 0 V jest interpretowany jako błąd),
- czujniki analogowe są standardowo zasilane napięciem 12 V prądu stałego (poprawna praca czujnika jest gwarantowana przy spadku napięcia zasilającego do 7 V lub wzroście do 15 V),
- czujniki analogowe są podłączone do stacji dołowych dwiema parami przewodów (jedna para służy do zasilania czujnika, a druga do transmisji danych),
- stacje dołowe są połączone z powierzchniową stacją transmisji danych FED/p 4-przewodową magistralą (TX/RX), transmisja realizowana jest w systemie szeregowym wielokrotnym z podziałem czasu,
- stacje dołowe zasilane są napięciem 12 V prądu stałego z zasilaczy wyposażonych w baterie akumulatorów zapewniające 4-godzinne zasilanie w przypadku awarii w kopalnianej sieci elektroenergetycznej.

Stacja powierzchniowa transmisji danych typu FED/P (fot.11) - stanowi zasadniczy element sterowania transmisją danych i pośredniczy w wymianie informacji pomiędzy stacjami dołowymi i komputerem nadrzędnym. W systemie transmisji zastosowano magistralę 4-przewodową, do której można przyłączyć do 15 stacji dołowych. Stacja FED/P może obsługiwać 6 takich magistral, co daje możliwość podłączenia 90 stacji dołowych.

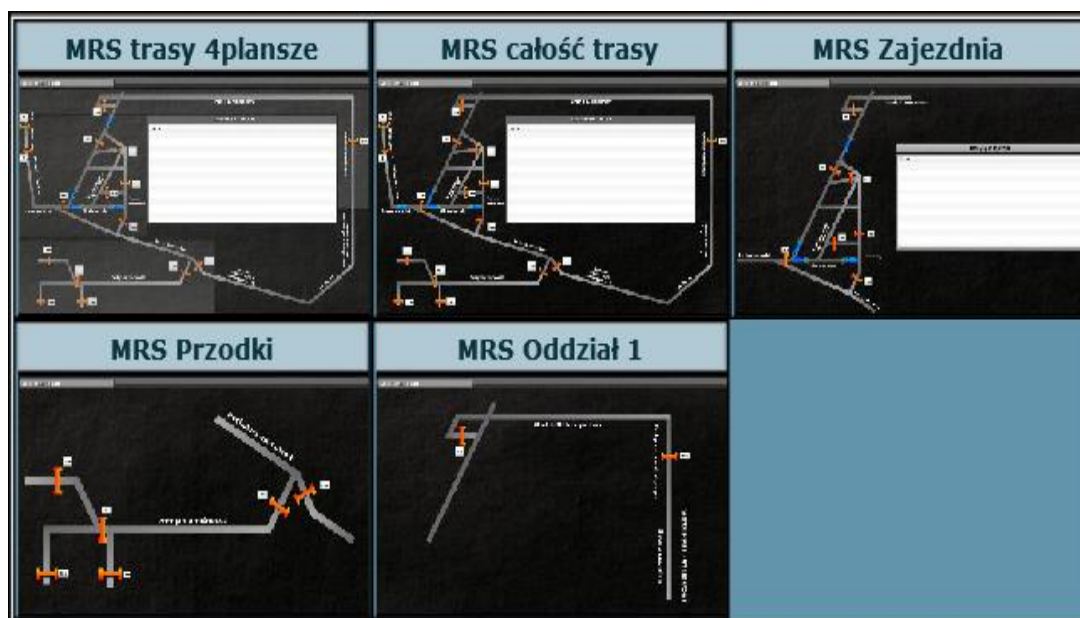
Stacje lokalne VAL101P - posiadają 16 wejść dla czujników dwustanowych oraz do 14 wejść dla czujników analogowych. Zasilane są z iskrobezpiecznego zasilacza sieciowego 12 V prądu stałego buforowanego baterią akumulatorów. W razie potrzeby istnieje możliwość zabudowy do 8 wyjść przekaźnikowych umożliwiających sterowanie obwodami urządzeń zewnętrznych. Wewnętrzna pamięć RAM z podtrzymaniem bateryjnym pozwala na zapamiętanie 128 zdarzeń alarmowych. Program działania stacji przechowywany jest w pamięci EPROM.



Fot.11. Stacja powierzchniowa FED/P systemu Venturom-Micon (źródło: materiały własne)

3.2.4. System DemKOP

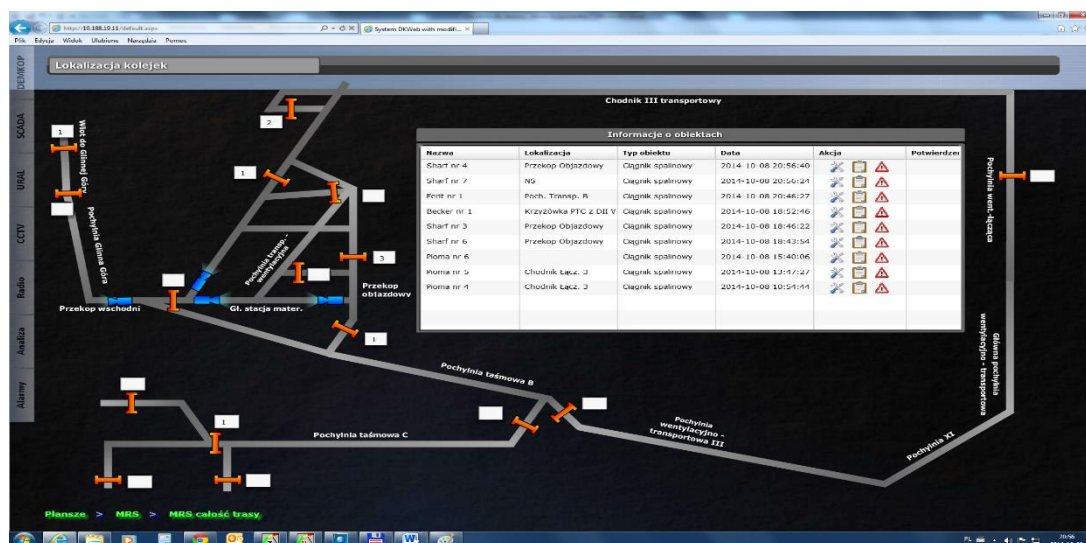
System DemKOP to opracowany przez firmę Somar Sp. z o.o. system monitorowania i wizualizacji procesów technologicznych. Dzięki współpracy firmy EMITECH Sp. z o.o. (dostawcy systemu MultiCOM) z firmą Somar Sp. z o.o. powstał w oparciu o niego system identyfikacji ruchu maszyn dostosowany do wymagań i potrzeb Zakładu Górniczego Sobieski. Dla potrzeb przesłania informacji została do tego celu wykorzystana istniejąca już sieć kabla promieniującego (cieknącego) wraz z infrastrukturą systemu MultiCOM, wykorzystywaną już do łączności radiowej. Zasada działania polega na przesyłaniu danych z bramek zainstalowanych na dole zakładu, które rejestrują sygnały z tagów zabudowanych na maszynach transportowych. Informacje o zdarzeniu przesyłane są do szafy telemetrycznej systemu wyposażonej w specjalny interfejs typu IHEC i dalej łączem szeregowym do serwera głównego DEMKop. Przesyłanie danych odbywa się w tym samym paśmie częstotliwości co prowadzone rozmowy. DEMKop pobiera dane z systemu MultiCOM i prezentuje na stanowiskach komputerowych położenie środków transportowych na dole zakładu. Po zalogowaniu się do systemu mamy dostęp do plansz, na których przedstawione są trasy kolejek (fot. 12).



Fot.12. Zrzut ekranu systemu DEMKop - plansze odcinków tras (źródło: materiały własne)

Poszczególne plansze prezentują całość trasy objętej systemem monitorowania pracy kolejek lub też wybrane jej fragmenty, w zależności od potrzeb użytkownika. Najważniejszą i

najczęściej używaną planszą jest plansza **MRS całość trasy**. Po jej wybraniu zostaniemy przeniesieni do widoku szczegółowego (fot. 13).



Fot. 13. Zrzut ekranu systemu DEMKOP. Plansza MRS całość trasy (źródło: materiały własne)

Tabela przedstawia listę wszystkich zarejestrowanych obiektów (kolejek) wraz z informacją o ich ostatnio zarejestrowanej lokalizacji i godzinie zdarzenia. To daje możliwość dokonania takich działań jak zgłoszenie awarii, przeglądu danych dotyczących maszyny lub przeglądu zdarzeń wymagających interwencji. Tabela aktualizuje się automatycznie wraz z przemieszczaniem się maszyn. Na fotografii 14 widzimy wycinek planszy głównej przedstawiający rejon zajezdni (MRS Zajezdnie).



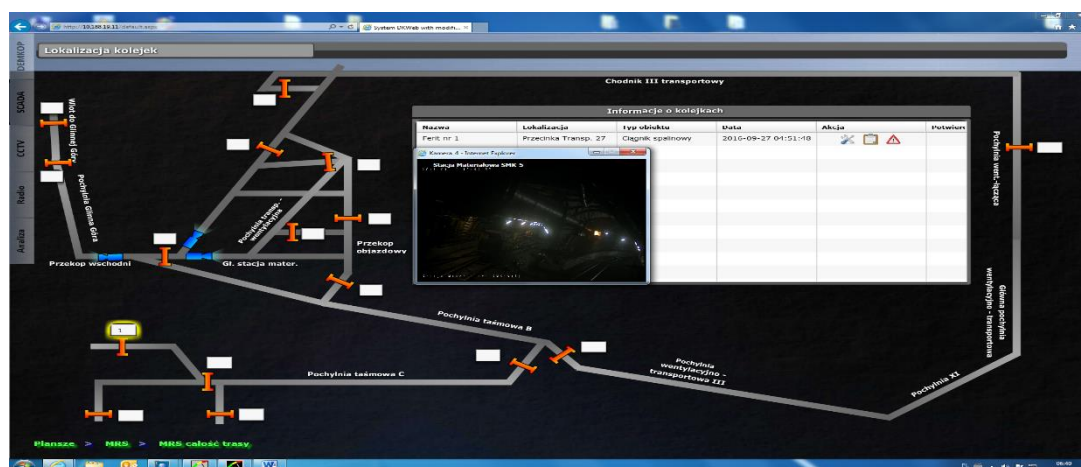
Fot. 14. Zrzut ekranu systemu DEMKOP. Plansza MRS zajezdnie kolejek (źródło: materiały własne)

Cyfry w białych prostokątach oznaczają ilość zarejestrowanych maszyn na danej bramce i jednocześnie jest to informacja o ostatniej znanej lokalizacji danej maszyny. Po kliknięciu w pole z cyfrą otrzymamy dodatkowe informacje o zarejestrowanych maszynach (fot. 15).

Obiekty					
Nazwa	Lokalizacja	Typ obiektu	Data	Akcja	Potwier
Pioma nr 5	Chodnik łącz. 3	Ciągnik spalinowy	2014-10-08 13:47:27	  	
Pioma nr 4	Chodnik łącz. 3	Ciągnik spalinowy	2014-10-08 10:54:44	  	

Fot.15. Zrzut ekranu z paskiem o rejestracji bramki (źródło: materiały własne)

Niebieskie ikony w kształcie kamery informują o aktualnym rozmieszczeniu kamer systemu monitoringu, są jednocześnie skrótami do podglądu z kamer, co oznacza że po kliknięciu w ikonę pojawi się małe okno z podglądem obrazu z kamery (fot. 16).

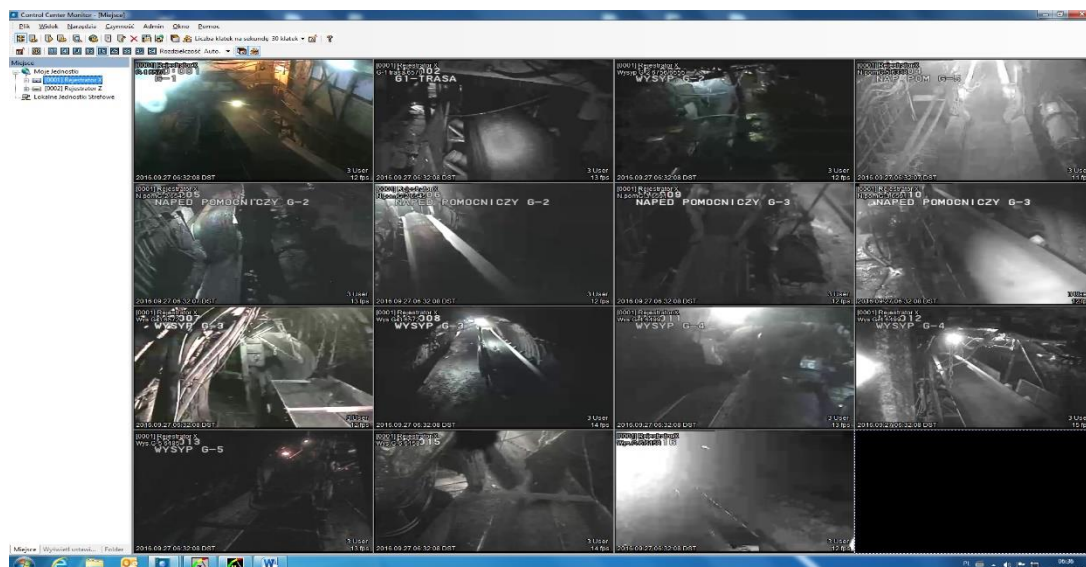


Fot.16. Zrzut ekranu systemu DemKOP. Zarządzanie ruchem kolejek podwieszanych (źródło: materiały własne)

3.2.5. Systemy telewizji przemysłowej

Zainstalowane w zakładzie górniczym Sobieski systemy telewizji przemysłowej oparte są o video-rejestratory firm Geovision oraz Optiva pracujących pod programem Control Center Monitor. Zapewniają one bieżący podgląd, archiwizację oraz udostępnianie podglądu z kamer do sieci zakładowej. Obejmują one swoim zasięgiem przenośniki taśmowe stanowiące tzw. podstawę główną z poz. 500 m, której zadaniem jest transport urobku bezpośrednio na powierzchnię zakładu (fot. 17).

Odrębnym systemem również umożliwiającym podgląd z kamer w rejonie załadowni wyciągu skipowego Sobieski oraz na części dróg przewozowych jest omawiany już wcześniej system DEMKop. Program posiada dodatkową zakładkę, po otwarciu której uzyskujemy dostęp do obrazu z kamer (fot.18). Udostępnienie obrazu w sieci ogólnozakładowej LAN, pozwala na bezpośredni nadzór ze strony służb technicznych i BHP zakładu.



Fot.17. Zrzut ekranu przedstawiający obraz z kamer w systemie Control Center Monitor
(źródło: materiały własne)



Fot.18. Zrzut ekranu przedstawiający plansze z kamerami w systemie DemKOP
(źródło: materiały własne)

4. Systemy wspomaganie pracy dyspozytora ruchu

Zadaniem eksploatowanych w zakładzie górnym systemów wspomaganie pracy dyspozytora ruchu jest umożliwienie prezentacji na ekranach monitorów komputerowych i tablicy wielkoformatowej stanu pracy czujników dwustanowych i analogowych. Prezentacja odbywa się zarówno w formie tabel, jak i na specjalnie przygotowanych planszach z naniesionym układem wyrobisk. System Zefir_NT pobiera i prezentuje dane z systemów telemetrycznych: UTS-T, Venturon-Micon, CMC-5. System Thor pobiera dane z systemu UTS-T oraz CMC-5. Możliwa jest wymiana danych pomiędzy programami Zefir_NT i Thor. Takie połączenie systemów gwarantuje bezpieczeństwo w dostarczaniu i prezentowaniu danych. Zakład uruchamiając nowe systemy UTS-T, CMC-5 oraz THOR zachował dotychczas działające

systemy czyli Venturon-Micon oraz Zefir_NT. Było to po części również spowodowane potrzebą jak najmniej uciążliwego przełączenia urządzeń w nowej dyspozytorni i nie wprowadzaniu zmian od razu na wszystkich poziomach dystrybucji informacji.

4.1. System Zefir_NT

Dyspozytorski system komputerowy "Zefir NT" – realizuje następujące funkcje:

- przyjmowanie informacji przekazywanych przez:
 - system Venturon-Micon,
 - System UTS-T,
 - System SMP_NT/SV,
 - System Thor,
- rejestrowanie i analiza sygnałów pomiarowych,
- generowanie ostrzeżeń i alarmów,
- prezentowanie zebranych z obiektu informacji w postaci alfanumerycznej (komunikaty i raporty) i graficznej (wykresy, schematy, plany wyrobisk z naniesionymi czujnikami) na kolorowych monitorach graficznych,
- tworzenie dokumentacji raportowej w postaci wydruków oraz zbiorów danych na nośnikach magnetycznych.

Zasadniczymi elementami systemu są:

CYKLOP - centralny moduł pomiarowy służący do:

- tworzenia podstawowej bazy danych na dysku twardym modułu,
- przesyłania przetworzonych informacji do modułów MW/ZEFIR oraz MO/MAGIK,
- generowania raportu ALARMY i ZAGROŻENIA,
- prowadzenia diagnostyki transmisji danych z obiektu.

DYSP1 i DYSP2 - moduły wizualizacji prezentujące na monitorach graficznych oraz tablicy synoptycznej informacje pobierane z bazy danych CYKLOP.

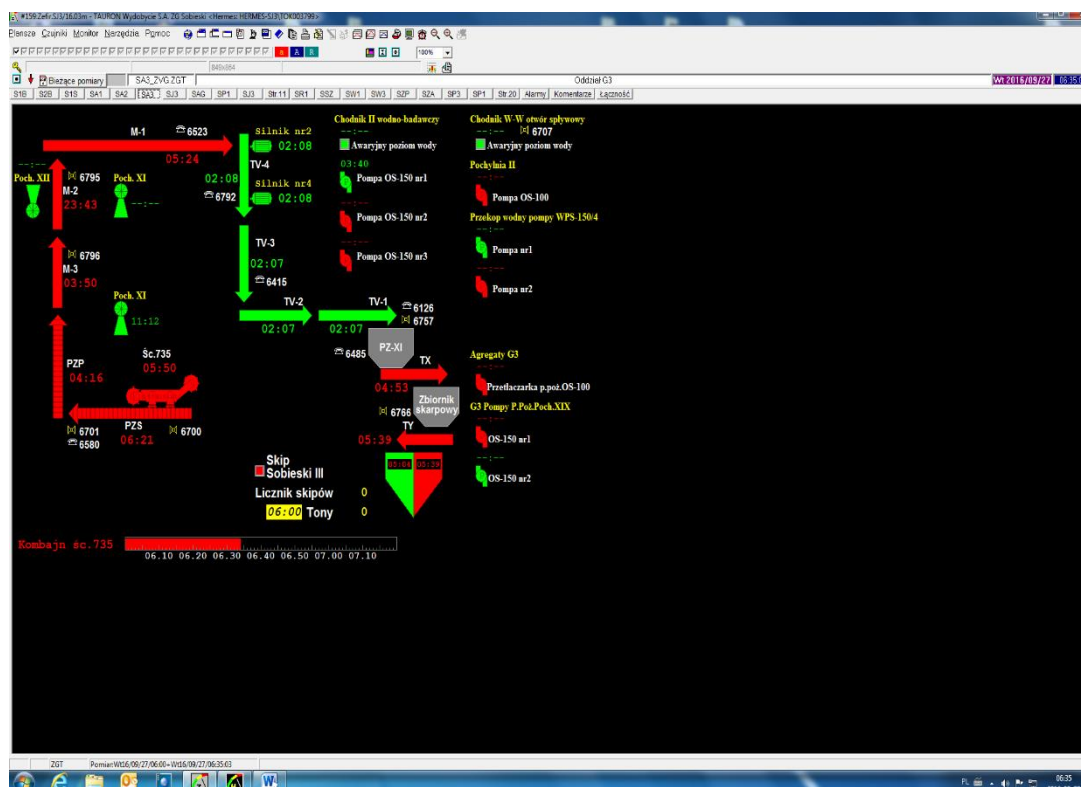
MAGIK - moduł operatora systemu umożliwiający aktualizację i tworzenie nowych prezentacji graficznych, raportów itp.

W skład systemu wchodzi:

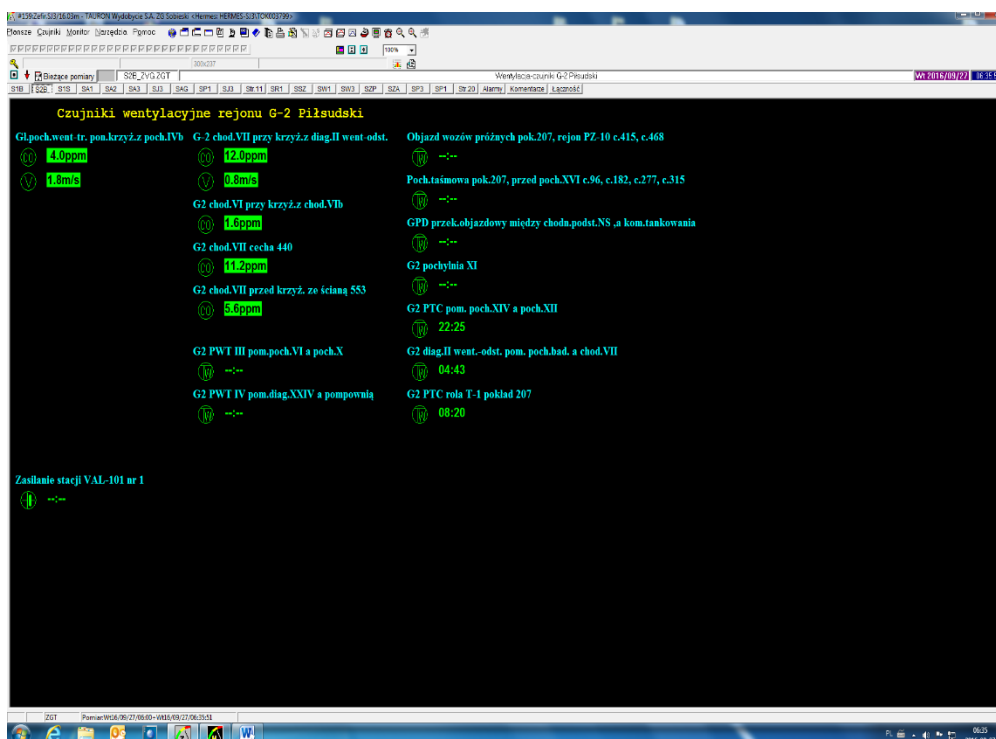
- moduł CYKLOP - komputer klasy IBM PC; XP Pro,
- moduł CYKLOP REZ (rezerwowany) - komputer klasy IBM PC; XP Pro,
- moduł MAGIK - komputer klasy IBM PC,
- moduł DYSP1 - komputer klasy IBM PC, karta wielomonitorowa,
- moduł DYSP2 - komputer klasy IBM PC, karta wielomonitorowa sterująca tablicą synoptyczną wielkoformatową,
- moduł HERMES - komputer klasy IBM PC jako serwer lustrzany współpracujący z siecią zakładową LAN.

Na monitorach modułów wizualizacyjnych, można prezentować plansze zarówno w formie modeli procesów technologicznych z zaznaczonymi istotnymi elementami typu nazwa wyrobiska lub układ dróg transportowych (fot. 19) lub w formie tabelarycznej (fot. 20).

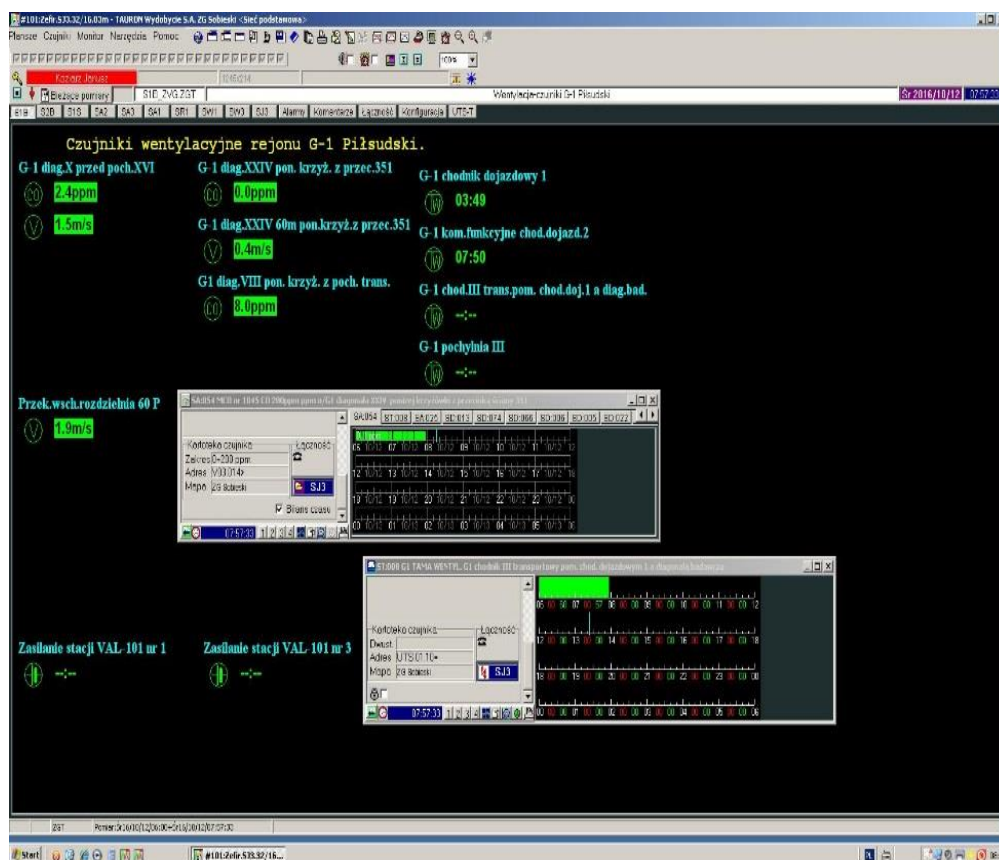
Na planszach systemu można prezentować schematy dróg uciezkowych (fot. 24) z zaznaczonymi środkami łączności. System Zefir_NT pobiera dane z central telemetrycznych: Venturon-Micon, UTS-T oraz CMC-5, a w karcie czujnika można odczytać jego adres i parametry pracy.



Fot.19. Zrzut ekranu ze stanowiska dyspozytorskiego systemu Zefir_NT. Plansza dla wydobywania (źródło: materiały własne)



Fot.20. Zrzut ekranu z planszy systemu Zefir_NT. Plansza dla gazometrii (źródło: materiały własne)



Fot. 21. Zrzut ekranu z otworzonymi kartami czujników (źródło: materiały własne)

Na fotografii 21 widzimy zrzut ekranu przedstawiający otwarte karty czujników tlenków węgla, na których widać adresy czujników z systemów Venturon-Micon oraz UTS-T.

4.2. System THOR

System wspomagania dyspozytorskiego Thor jest drugim obok systemu Zefir_NT kompleksowym rozwiązaniem przeznaczonym do rejestracji oraz wizualizacji stanu pracy czujników oraz raportowania ułatwiającego analizę zagrożeń występujących na monitorowanych obiektach w ruchu zakładu górniczego. System został przeznaczony do współpracy z systemami UTS-T oraz CMC-5 i został uruchomiony w następującej konfiguracji:

w zakresie sprzętowym:

- serwer THOR-G (główny),
- serwer THOR-L (lustrzany),
- THOR - stanowisko utrzymaniowe,

w zakresie oprogramowania:

- aplikacja „ODYN” - do konfiguracji systemu,
- aplikacja „LOKI” - do tworzenia i edycji plansz,
- aplikacja „SKADI” - do wizualizacji i udostępniania danych (plansz).

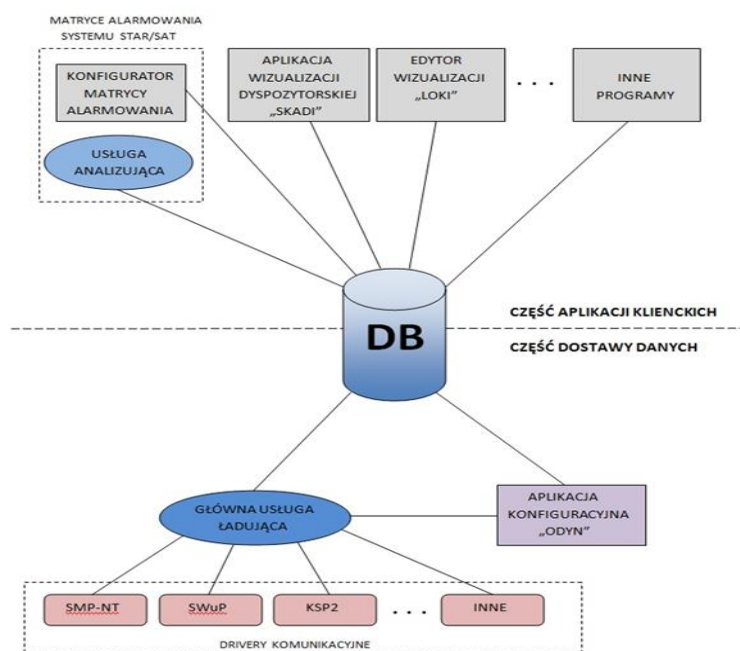
Za pomocą serwera lustrzanego Thor-L system umożliwia udostępnianie danych do zakładowej sieci LAN. Czas w systemie jest synchronizowany za pomocą serwera SSC-2.

Na fotografii 22 przedstawiono widok planszy przedstawiający zestawienie linii transmisyjnych z systemu UTS-T. Każdą z linii przyporządkowano 8 kolumn odzwierciedlających 8 stacji, które można uruchomić na jednej linii. W każdej kolumnie wydzielono cztery pola oznaczające cztery czujniki, podłączone do stacji dołowej SDD-T.



Fot. 22. Zrzut ekranu ze stanowiska nadzoru Thor (źródło: materiały własne)

Podstawowym elementem struktury systemu THOR (rys. 7) jest scentralizowana baza danych DB, do której zapisywane są wszystkie dane rejestrowane przez drivery komunikacyjne. Są one przechowywane w sposób jednolity i niezależny od specyfikacji źródeł dostawcy. Za dopasowanie danych pobieranych od dostawcy odpowiadają drivery komunikacyjne, które formatują je w określony sposób i poprzez usługę ładującą zapisują w bazie danych.



Rys.7. Ogólna struktura systemu „THOR” (źródło: [2])

Przedstawioną strukturę systemu można podzielić na dwie części: dostawy danych oraz aplikacji klienckich.

Pierwsza zawiera elementy odpowiadające za pobieranie danych z różnych systemów pomiarowych i zapisywanie w określony sposób do bazy danych. W jej skład należy również zaliczyć wymagany sprzęt tj. komputery, stojaki telemetryczne, czujniki pomiarowe oraz inne elementy tworzące całość poszczególnych systemów pomiarowych.

Druga obejmuje aplikacje umożliwiające dostęp do bazy oraz zawartych w niej zapisów. Poprzez dostarczone oprogramowanie użytkownik otrzymuje zestaw funkcji konfiguracji i sterowania urządzeniami, przeglądania, analizowania i raportowania danych, a także wiele innych ułatwiających pracę z systemem. Część aplikacyjna może być rozbudowywana w zależności od wymagań zakładu górniczego, a funkcjonalność systemu dynamicznie zwiększana. System THOR ma możliwość pobierania danych pomiarowych z systemu Zefir_NT.

System THOR jest przygotowany tak, by można było pobierać dane z różnych źródeł, a więc z dowolnej aplikacji pracującej na potrzeby zakładu pracy. Warunkiem jest przygotowanie odpowiedniego sterownika, który dopasowuje specyfikę protokołu komunikacyjnego każdego z programów podłączanych do systemu. Należy jednak pamiętać,

że jest to również zależne od możliwości połączeniowych danej aplikacji, a więc czy istnieje możliwość pobierania danych z wybranego źródła.

Elementy systemu.

Poszczególne elementy systemu zostały tak zaprojektowane, aby możliwe było przechowywanie danych w sposób jednolity i względnie uniwersalny, czyli niezależny od specyfiki innych systemów. Najważniejszymi elementami systemu są:

- baza w technologii Microsoft SQL zawierająca odpowiednio przygotowaną strukturę danych,
- usługa dystrybucji danych, która zapisuje dane pobierane z odpowiednich sterowników,
- sterowniki komunikacyjne,
- aplikacje użytkowe umożliwiające prawidłowe korzystanie z systemu,
 - aplikacja konfiguracyjna ODYN,
 - edytor wizualizacji LOKI,
 - program wizualizacji danych SKADI.

Baza danych zawiera odpowiednio przygotowane struktury oraz procedury tak, by przechowywane dane były łatwo i szybko dostępne, a jednocześnie zapewniały odpowiednią wydajność i niezawodność. Baza danych aktualnie pracuje z wykorzystaniem jednego komputera, ale w razie potrzeby jest możliwość pracy w grupie z wykorzystaniem większej liczby maszyn, co zwiększy wydajność oraz dostępność danych.

Usługa ładująca (dystrybucji) pracuje na serwerze w sposób ciągły zapewniając prawidłowy zapis danych do bazy. Może być ona uruchomiona również na innych komputerach w konfiguracjach rozproszonych, jednak w obrębie sieci, w której pracuje możliwe jest prawidłowe działanie tylko jednej takiej usługi.

Sterowniki komunikacyjne odpowiadają za właściwe przygotowanie danych zgodnie z wymaganiami systemu, tak by dane pobierane ze źródła były prawidłowo zapisywane i dostępne w bazie.

Elementami najistotniejszymi z punktu widzenia użytkownika są aplikacje umożliwiające poprawne skonfigurowanie systemu i udostępniające interfejs użytkowy wraz z zestawem odpowiednich funkcji. Za pomocą tych programów osoba obsługująca może korzystać z dostępnych możliwości systemu. Bez nich użytkownik nie byłby w stanie pracować i wykorzystywać przewidzianej funkcjonalności, a więc poprzez aplikacje możliwe jest ograniczanie lub rozbudowywanie systemu.

- **ODYN** – program konfiguracji systemu przy pomocy którego użytkownik ma możliwość wprowadzania danych do bazy i przygotowania systemu do swoich wymagań.
- **LOKI** – program edycji projektów, przy pomocy którego istnieje możliwość tworzenia odpowiednich planów obiektowych, map, rysunków oraz podpinania danych z bazy celem wizualizacji. Udostępnia on zestaw narzędzi do rysowania, konwersji z innych formatów oraz wstawianie obiektów dostępnych w bazie określając jednocześnie sposób działania.
- **SKADI** – program wizualizacji danych, który uruchamia wcześniej przygotowany przez użytkownika projekt(y) a także udostępnia funkcje dostępu do danych.

5. Tablice synoptyczne

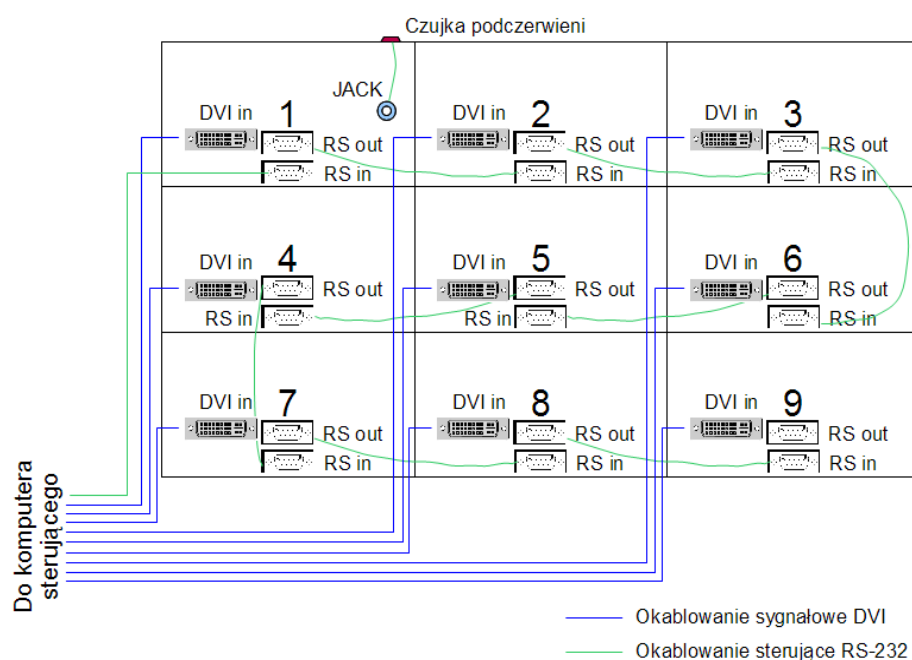
Podstawowym sposobem prezentowania stanu czujników są tablice synoptyczne: wielkoformatowa oparta o monitory LCD oraz dwie tablice mozaikowe z wyświetlaczami LED.

Tablica synoptyczna monitorowa wielkoformatowa oparta o monitory 46" służy do wizualizacji pracy czujników z systemu Zefir_NT. Ekrany LCD zamontowane w układzie 3x3 stanowią wirtualny ekran roboczy o rozdzielczości max. 5750x3240 pikseli. Konfiguracja systemu umożliwia wyświetlanie na dowolnym ekranie, oprócz okien aplikacji Zefir_NT i THOR do 4 okien zewnętrznych sygnałów RGB/DVI/HDMI/Component.

W skład systemu tablicy wchodzi:

- 9 monitorów LCD 46" ,
- komputer sterujący DYSP2,
- oprogramowanie do zarządzania ekranem wielkoformatowym,
- konstrukcja montażowa.

Schemat układu połączeń pokazano na rysunku 8.

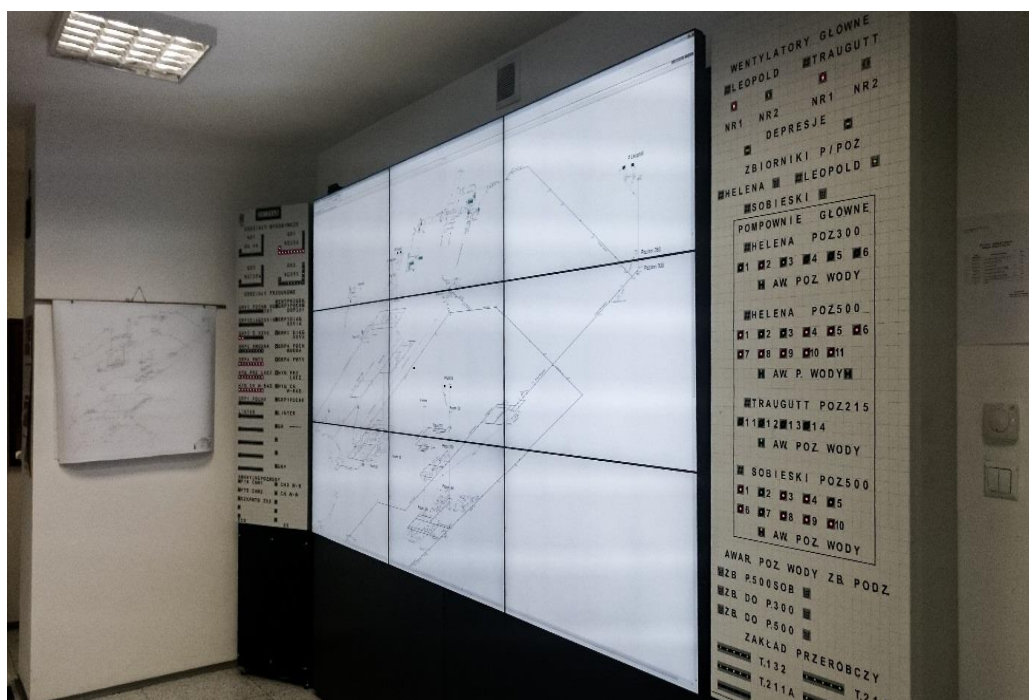


Rys.8. Schemat połączeń monitorów (źródło: [3])

Tablicę monitorową zabudowano w pomieszczeniu dyspozytorni centralnie pomiędzy tablicami synoptycznymi mozaikowymi (fot. 23, 24).



Fot. 23. Na zdjęciu zespół tablic synoptycznych w pomieszczeniu dyspozytorni
(źródło: materiały własne)



Fot. 24. Na zdjęciu zespół tablic synoptycznych z wyświetlonym schematem dróg wentylacyjnych
(źródło: materiały własne)

Dostęp do urządzeń za tablicą jest możliwy dzięki specjalnej konstrukcji na kółkach pozwalającej na odchylenie jej od ściany (fot. 25).



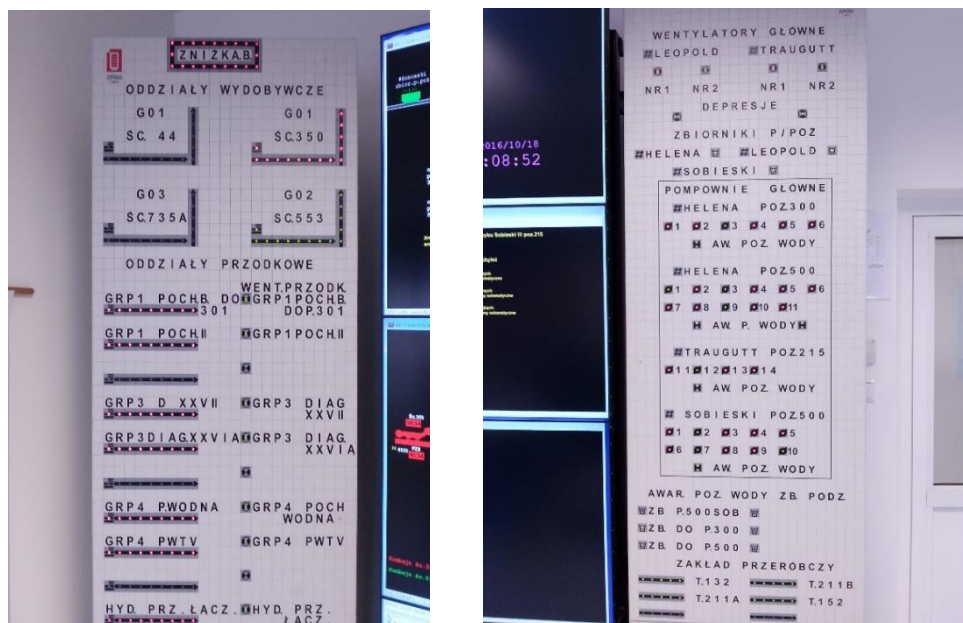
Fot. 25. Na zdjęciu tablica wielkoformatowa podczas przeglądu (źródło: materiały własne)

W dyspozytorni zakładowej zabudowano również dwie tablice synoptyczne mozaikowe w formie gablot wolnostojących (fot. 26) wyposażone w moduły diodowe typu DTMg-92 oraz DTMg-93. Tablice synoptyczne współpracują z systemem UTS-T za pomocą sterownika UST. Pojemność dla obu tablic razem wynosi 768 modułów diodowych.

Na tablicach mozaikowych zostały umieszczone wskazania czujników kontrolujące najważniejsze obiekty zakładu górniczego. Są to:

- wskazania pracy wentylatorów głównych,
- praca pomp głównego odwodnienia,
- wskazania awaryjnych poziomów wody w pompowniach głównych,
- poziom wody w zbiornikach p/poż. i zbiornikach podsadzkowych,
- praca kompleksów ścianowych i kombajnów chodnikowych,
- załączenie wentylatorów w przodkach.

Dzięki temu uniezależniono wskazania dla tych obiektów od ewentualnych awarii systemów komputerowych.



Fot. 26. Tablice synoptyczne mozaikowe lewa i prawa (źródło: materiały własne)

6. Systemy dodatkowe

6.1. Serwer synchronizacji czasu

Serwer Synchronizacji Czasu SSC-2 służy do synchronizacji czasu w komputerach pracujących w wewnętrznej sieci teleinformatycznej realizując postanowienia pkt.3.4.7 załącznika nr 1 do rozp.RM z dnia 30.04.2004(Dz.U. Nr 99,poz.1003). Serwer Synchronizacji Czasu SSC-2 do kontroli czasu wykorzystuje odbiornik GPS, z którego odbiera informacje o aktualnej dacie, godzinie i liczbie obserwowanych satelitów. Serwer czasu SSC-2 podłączony do sieci lokalnej, z wykorzystaniem interfejsu Ethernet, może synchronizować wszystkie komputery pracujące w danej sieci za pomocą protokołu NTP. Każdy komputer w sieci z uruchomionym programem klienta „synchronizacja czasu SSC-2” może pobierać czas z serwera i synchronizować swój zegar. Urządzenie ma budowę modułową do zabudowania w szafie telemetrycznej(fot. 27).

Serwer SSC-2 synchronizuje:

- centralę telefoniczną systemu HiPath 4000,
- system alarmowo-rozgłoszeniowy typu SAT/N-A,
- system prowadzenia akcji ratowniczej SKAR,
- system wspomaganie dyspozytora Zefir_NT,
- system wspomaganie dyspozytora Thor,
- centrale CMC-5 systemu SMP_NT/SV.



Fot.27. Moduł serwera czasu SSC-2 (źródło: materiały własne)

7. Podsumowanie

W dyspozytorni Zakładu Górniczego Sobieski w Jaworznie zastosowano szereg rozwiązań, które umożliwiają monitorowanie parametrów związanych z realizowanymi procesami technologicznymi oraz bezpieczeństwem załogi. Urządzenia pracując na wspólnej wewnętrznej sieci komputerowej wymieniają dane pomiędzy sobą jednocześnie udostępniając je wybranym użytkownikom zakładowej sieci LAN. Istotną cechą jest możliwość ich dalszej rozbudowy oraz uruchamiania nowych usług bez naruszania warunków bezpieczeństwa ruchu zakładu górniczego. Do dyspozycji są dwa systemy wizualizacyjne, zapewniające przedstawianie graficzne stanu pracy czujników pracujące w środowisku scada.

Prezentacja stanu pracy czujników odbywa się na tablicy wielkoformatowej oraz niezależnie na monitorach stanowisk dyspozytorskich. Dodatkowo wybrane parametry są prezentowane na tablicach mozaikowych. Zapewnia to bezpieczeństwo w przypadku awarii oprogramowania komputerów opartych na systemie windows.

W dyspozytorni zakładowej służby prowadzące ruch zakładu mają również dostęp do pozostałych systemów teletransmisyjnych, nie będących sensu stricto systemami dyspozytorskimi, ale z uwagi na przydatność informacji używanymi przez nich w codziennej pracy. Są to głównie aplikacje wizualizacyjne dostarczane przez producentów maszyn i urządzeń, umożliwiające nadzór nad ich pracą. Programy te uruchamiane są w sieci ogólnozakładowej LAN.

Prezentacja danych z tych systemów realizowana jest dwoma drogami:

- na monitorach stanowisk komputerowych znajdujących się w dyspozytorni zakładu górniczego włączonych do sieci zakładowej LAN,
- na tablicy synoptycznej wielkoformatowej, za pośrednictwem złączy AV bezpośrednio dostarczających obraz do tablicy bez ingerencji w sieć wewnętrzną dyspozytorni.

Taki sposób prezentacji jest od strony technicznej najwygodniejszy jednakże tak dystrybuowany program wizualizacyjny ma niski priorytet.

Służby techniczne zakładu decydują jakiej kategorii ma być instalowany system, jakie będzie jego znaczenie dla ruchu zakładu górniczego. Jeżeli bowiem ma to być system istotny dla dyspozytora ruchu, to nie może on być postawiony na sieci w której mogłoby dochodzić do wyłączeń spowodowanych np. konserwacją przez służby IT. Jako system dyspozytorski, musi być zasilany napięciem gwarantowanym, a zdalne zarządzanie wymaga odpowiednich ustaleń i może odbywać się tylko w trybie ręcznego udostępniania łącza firmie serwisowej. System

musi zapamiętywać te logi, a dystrybucja informacji dla pozostałych użytkowników z poza sieci wewnętrznej odbywać się może tylko za pośrednictwem serwera zwanego w przepisach lustrzanym.

Dostawcy maszyn i urządzeń mają więc dwa sposoby na przygotowanie programów wizualizacyjnych dla swoich wyrobów, tak aby można je było uruchomić w sieci dyspozytorskiej zakładu:

- uzgodnić sterowniki tak aby oprogramowanie bezpośrednio współpracowało z systemami Zefir_NT lub Thor, które to systemy posiadają swoje serwery lustrzane,
- uruchomić stanowiska komputerowe w sieci dyspozytorskiej zakładu z własnym dedykowanym serwerem lustrzanym.

Należy jednak pamiętać o stronie formalno-prawnej wymagającej odbiorów urzędowych i opracowania dodatków do dokumentacji podstawowej dyspozytorni, szczególnie w aspekcie zapewnienia odpowiedniej rezerwy mocy w systemie zasilania gwarantowanego. Bardzo często niewystarczająca pojemność baterii akumulatorów jest przeszkodą aby zainstalować na dyspozytorni nowy system.

Dalszy rozwój urządzeń dyspozytorskich w ZG Sobieski będzie zmierzał do:

- zwiększenia pojemności z uwagi na wzrastające potrzeby w zakresie oczujnikowania obiektów na dole zakładu w szczególności parametrów gazometrycznych,
- zwiększenia funkcjonalności poprzez m.in. wdrożenie procesu automatycznej analizy i raportowania w przypadku powstawania zdarzeń potencjalnie niebezpiecznych na dole zakładu,
- integracji na poziomie scada z pozostałymi zakładami Grupy TAURON w celu umożliwienia np. centralnego ewidencjonowania i raportowania o zdarzeniach.

Literatura

1. Materiały własne: Dokumentacje techniczno-ruchowe Tauron wydobywie S.A Zakład Górniczy Sobieski, 2015.
2. Dokumentacja techniczno-ruchowa. Kopalniany system telekomunikacyjny KST. Nr dok.100.D0.2.00.Telvis Sp. z o.o.
3. Dokumentacja i opis techniczny systemu ściany graficznej opartej o monitory NEC MultiSync X463UN. AV Technika Sp. z o.o.

Koncepcja inteligentnego systemu monitoringu i diagnostyki paneli fotowoltaicznych

Mariusz Woszczyński - Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Jakub Grabowski - Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie: W publikacji omówiono prawne aspekty oraz potrzeby skłaniające do budowy systemu monitoringu i diagnostyki paneli fotowoltaicznych. Zaprezentowano stosowane obecnie rozwiązania diagnostyki ww. paneli fotowoltaicznych i po ich analizie zaproponowano autorską koncepcję systemu – SmartPV. Podstawową zaletą systemu będzie możliwość monitorowania parametrów elektrycznych charakteryzujących moduły PV oraz parametrów środowiskowych, przy zastosowaniu odpowiednich czujników.

Concept of intelligent system for monitoring and diagnostics of photovoltaic panels

Abstract: Legal aspects as well as needs of building the system for monitoring and diagnostics of photovoltaic panels are discussed. Present solutions of diagnostics of abovementioned photovoltaic panels are presented and after their analysis the author's concept – SmartPV is presented. Possibility of monitoring the electric parameters characterizing the PV modules and environmental parameters using the special sensors is the main advantage of the system.

1. Wprowadzenie

Panele fotowoltaiczne służą do wytwarzania energii i są stosowane od ponad 20 lat. Zdobyte doświadczenia wykazują, że podczas ich eksploatacji powstają uszkodzenia, takie jak: punktowe wypalenia – tzw. „hot spoty”, delaminacja, pęknięcia i mikropęknięcia ogniw, pęknięcia szkła, defekty złączy elektrycznych, wypalenie puszkii przyłączeniowej czy brązowienie folii EVA. Powodują one znaczny spadek wydajności modułów fotowoltaicznych lub ich całkowitą niesprawność. W istniejących systemach fotowoltaicznych, awaria pojedynczego panelu jest niwelowana, przez jego „wyłączenie” za pomocą diod „by pass”, uniemożliwiających wsteczny przepływ prądu przez moduł PV. Umożliwia to dalszą pracę elektrowni, jednak użytkownik nie ma informacji, co spowodowało spadek wydajności.

Eksploatowane duże farmy fotowoltaiczne wyposażane są w systemy diagnostyczne, umożliwiające pomiar głównie temperatury pracy ogniw fotowoltaicznych, która silnie wpływa na wydajność (im wyższa temperatura tym niższa wydajność). Instalacja systemu diagnostyki wiąże się jednak z dodatkowymi kosztami związanymi z zasilaniem lub zakupem kamer termowizyjnych i prowadzeniem okresowej diagnostyki. Diagnostyka termowizyjna sprawdza się w przypadku niewielkich obszarowo farm. Jej istotną wadą jest brak możliwości prowadzenia diagnostyki w czasie rzeczywistym. Farmy rozległe wymagają diagnostyki ciągłej i stacjonarnej, którą mogą zapewnić jedynie systemy wbudowane.

Dodatkowo monitoring jakości pracy systemu powinien być prowadzony w sposób ciągły z szybką analizą i sygnalizowaniem błędów. Kontrola parametrów pracy elektrowni powinna

być w praktyce zautomatyzowana. Operator lub administrator systemu powinien niezwłocznie otrzymywać informacje o wszelkich nieprawidłowościach ze wskazówkami dotyczącymi dalszego postępowania.

Należy również podkreślić, że w przypadku instalacji fotowoltaicznych, nie istnieje potrzeba dodatkowego zasilania układów diagnostycznych, ponieważ energia elektryczna dostarczana jest bezpośrednio z paneli fotowoltaicznych.

2. Przegląd stanu prawnego

Polskie Towarzystwo Fotowoltaiki (PTPV) jest jednym z najważniejszych ośrodków działających w celu wsparcia badań i rozwoju technologicznego fotowoltaiki. Organizuje spotkania ekspertów, warsztaty, sympozja i konferencje oraz rozpowszechnia informacje i nagłaśnia kwestie środowiskowe. Jest ono zdecydowanym zwolennikiem narzucenia starannie sprecyzowanych parametrów komponentów systemów PV i sposobu oceny ich pracy. Tylko takie podejście może wpłynąć na prawidłowy rozwój rynku [10]. Według PTPV Narodowy fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOSiGW) w programach dofinansowania instalacji fotowoltaicznych, powinno precyzować parametry systemów PV i następnie domagać się ich stosowania, z konsekwencją cofnięcia dotacji lub kredytu. Powinno to skłonić producentów do poprawy parametrów i obniżenia cen [10].

PTPV zgłosiło do NFOSiGW propozycję monitorowania pracy systemów PV, poprzez wprowadzenie do warunków dofinansowania zainstalowania obowiązkowego monitoringu pracy systemu PV i uzależnienie premii dotacyjnej od efektów pracy instalacji po kilku latach.

System fotowoltaiczny (PV), ze względu na stosunkowo wysoki koszt inwestycji, stąd relatywnie drogą generowaną energię elektryczną, powinien pracować bezawaryjnie i z maksymalną możliwą sprawnością, w szerokim zakresie zmiennych warunków otoczenia w maksymalnie długim okresie czasu. Aby dokonać takiej oceny należy identyfikować parametry eksploatacyjne systemu PV, jak również wielkość energii wejściowej, czyli energii słonecznej, która w określonym przedziale czasu padała na powierzchnię modułów (generatora) PV, oraz wartość energii elektrycznej AC odprowadzonej do sieci bądź/i zużytej na potrzeby własne [10].

Ocena jakości pracy systemu powinna być oparta na udokumentowanych danych, gromadzonych w sposób ciągły przez system monitorujący, zgodnie z zaleceniami normy: *EN 61724 - Monitorowanie parametrów pracy systemu fotowoltaicznego – wskazówki dotyczące pomiarów, wymiany danych i ich analizy*. Wiąże się to z koniecznością obowiązkowej instalacji urządzenia monitorującego: natężenie promieniowania słonecznego, temperaturę otoczenia, temperaturę modułów PV oraz parametry elektryczne pracy systemu PV.

Norma PN-EN 61724:2002 zawiera ogólne wytyczne dotyczące monitorowania własności systemów fotowoltaicznych. Reguluje ona procedury monitorowania energii wynikającej z charakterystyk systemu fotowoltaicznego (PV). Zestawienie najważniejszych parametrów przedstawiono w tabeli 1.

Parametry wymagające analizy podczas pracy panelu fotowoltaicznego [3]

Tabela 1.

Parametr (Meteorologia)	Symbol	Jednostka
Całkowite natężenie napromieniowania w płaszczyźnie pola modułów	G_I	$W \cdot m^{-2}$
Temperatura powietrza otaczającego osłony radiacyjne	T_{am}	$^{\circ}C$
Szybkość wiatru	S_w	$m \cdot s^{-1}$
Napięcie wyjściowe	V_a	V
Prąd wyjściowy	I_A	A
Moc wyjściowa	P_A	kW
Temperatura modułu	T_m	$^{\circ}C$

Zadaniem monitoringu powinna być przede wszystkim analiza pracy systemu PV, w tym szybkie wykrywanie i sygnalizowanie błędów czy wydajności systemu poniżej oczekiwanej. W tym celu centralny system monitorowania powinien zawierać procedury analityczne pozwalające na taką diagnostykę. Diagnostyka powinna być w możliwie maksymalnym stopniu zautomatyzowana i w razie stwierdzenia nieprawidłowości operator, właściciel czy administrator systemu, powinni być o tym niezwłocznie informowani, wraz ze wskazówkami dotyczącymi dalszego postępowania.

3. Przegląd stanu wiedzy i rozwiązań w zakresie diagnostyki paneli fotowoltaicznych

3.1. Podstawy systemów „smart”

W obecnych instalacjach fotowoltaicznych funkcje „smart” pełnią mikroinwertery sygnałów DC/AC lub optyimizery sygnałów DC/DC, połączone z klasycznym inwerterem, który wykonuje konwersję sygnałów DC na AC.

Mikroinwerter to urządzenie o niewielkich gabarytach w porównaniu do tradycyjnego inwertera solarnego, przeznaczony do konwersji sygnału DC wyjścia poszczególnych paneli na AC. Mikroinwertery są instalowane równolegle, co umożliwia eliminowanie rozbieżności wydajności pomiędzy panelami i redukuje straty energii spowodowane zacienieniem lub niezgodną ilością paneli/stringów.

Optyimizery sygnałów DC/DC są urządzeniami z wyjściem prądu stałego - nie wykonują konwersji sygnałów DC do AC, tak jak mikroinwertery. Wykorzystywane są do maksymalizacji wydajności poszczególnych paneli lub stringów. Optyimizery sygnałów DC mogą być połączone równolegle lub szeregowo. Są one instalowane w panelu w zastępstwie diod bypass i śledzą maksymalne punkty mocy (MPP) na poziomie modułów fotowoltaicznych.

Stosowanie rozwiązań „smart”, w postaci mikroinwerterów i optymizerów, pozwala na podwyższenie wydajności o nawet 25%, w porównaniu do tradycyjnej technologii. Niektóre systemy pozwalają dodatkowo monitorować instalację na poziomie paneli, co ułatwia kontrolę nad produkcją i umożliwia szybkie identyfikowanie awarii w instalacji. Bezpieczna praca systemu fotowoltaicznego, w przypadku normalnego użytkowania oraz uszkodzenia, stanowi główne założenie projektowe będące podstawą przewidywania średniej produkcji energii w długim okresie czasu. Istnieje kilka parametrów, które podczas pracy całego systemu powinny być archiwizowane i poddane analizie, co wynika z normy PN-EN 61724:2002.

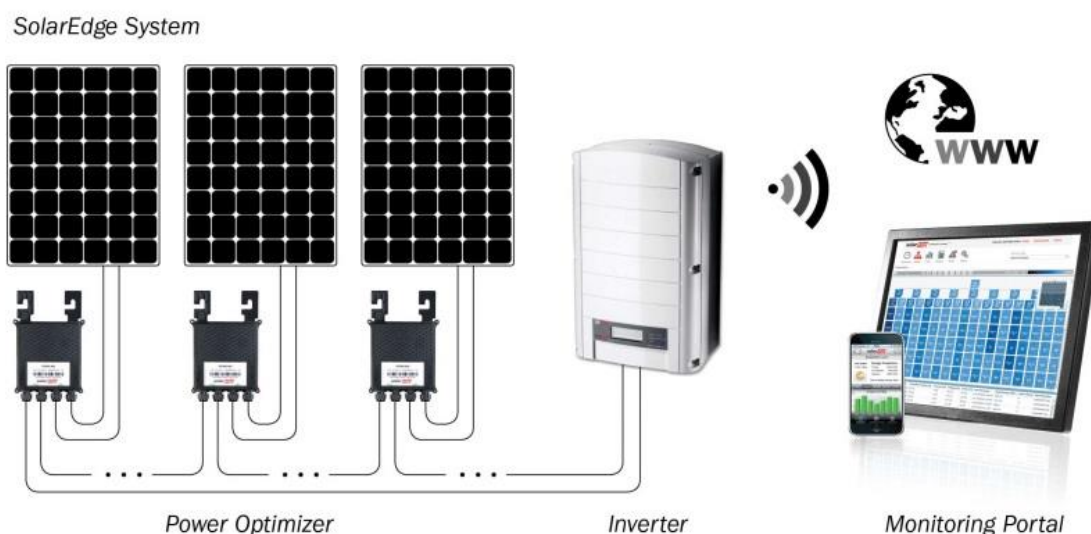
Sprawność stringu tradycyjnej instalacji fotowoltaicznej jest uzależniona przede wszystkim od wydajności najsłabszego modułu. Nominalna moc poszczególnych paneli jest w rzeczywistości różna niż to wynika z danych katalogowych producenta. Efekt niedopasowania ma swoje odzwierciedlenie w następujących przypadkach:

- różna moc maksymalna modułów,
- zacinienie pojedynczego modułu PV, prowadzące do spadku wydajności całej instalacji w przypadku, gdy nie zadziała dioda bocznikująca (należy pamiętać o ich ułożeniu na panelu PV),
- panele ułożone w pewien układ, zwłaszcza w instalacjach dachowych, charakteryzują się różną temperaturą pracy. Panele skrajne mają zazwyczaj niższą temperaturę niż panele wewnątrz instalacji.

3.2. System Solar Edge

Rozwiązanie proponowane przez firmę Solar Edge polega na optymalizacji pracy paneli fotowoltaicznych w aspekcie zapewnienia maksymalnych uzysków energii z każdego modułu (rys. 1). Oferowany układ dedykowany jest do:

- warunków częściowego zacinienia połaci dachowych,
- połaci o różnych kątach nachylenia i orientacji względem stron świata,
- w instalacjach, gdzie należy zastosować ciągi modułów o różnych długościach,
- w przypadku konieczności ułożenia paneli w różnych układach poziomych i pionowych.



Rys.1. Rozwiązanie Solar Edge [11]

Główne cechy systemu SolarEdge to:

- praca każdego panelu fotowoltaicznego z maksymalną wydajnością,
- wpływ zacielenia panelu ograniczony do minimum,
- maksymalizacja wykorzystania dostępnej powierzchni dachowej,
- możliwość sprawdzania i kontroli każdego modułu,
- wysokie bezpieczeństwo – wyłączenie inwertera ogranicza stałe napięcie na każdym z modułów do 1V,
- szybszy zwrot nakładów inwestycyjnych, z uwagi na zwiększone uzyski energii.

Rozwiązanie SolarEdge charakteryzuje się ponadto poszukiwaniem MPP, dla każdego modułu w systemie fotowoltaicznym, stabilizacją napięcia DC oraz bezpieczeństwem pracy. Systemy nowoczesnego monitoringu paneli fotowoltaicznych tj. SolarEdge, zarządzają napięciem/natężeniem po stronie DC. Klasyczny układ dokonuje zmiany w zakresie od 0 do około 30 V DC. Dzięki zainstalowanym optymalizatorom mocy napięcie jest utrzymywane na stabilnym poziomie 350 V DC, dla instalacji jednofazowych, oraz 750 V DC dla instalacji trójfazowych. Skutkuje to wyrównaniem poziomu w napięcia całego szeregu. Uzyskuje się również większą sprawność (98%), przy konwertowaniu napięcia z DC na AC. Połączenie dwudziestu paneli PV w szeregu powoduje, iż napięcie po stronie DC może przekroczyć nawet 600 V DC. Wartość ta może być niebezpieczna dla instalatora w czasie prac na dachu. W systemie SolarEdge, dzięki częstej komunikacji między falownikiem a optymalizatorem mocy w przypadku zaniku napięcia po stronie AC i wejścia falownika w stan bierny, optymalizatory mocy „przejmują” zarządzanie pracą paneli PV i obniżają napięcie do poziomu 1 V DC, dla każdego optymalizatora. Skutkuje to tym, iż napięcie stringu składającego się z 20 paneli PV jest zredukowane do napięcia 20 V DC.

3.3. Rozwiązanie Sunny Sensor Box

Sunny SensorBox to stacja pogodowa, instalowana bezpośrednio przy modułach fotowoltaicznych, mierząca natężenie promieniowania słonecznego i temperaturę. System zapewnia ciągłe porównywanie wydajności paneli w stosunku do wartości oczekiwanych, dzięki czemu można identyfikować zacienienie, zabrudzenie czy uszkodzenie instalacji. Dodatkowe porty zawarte w urządzeniu dla opcjonalnego czujnika pomiaru temperatury otoczenia i prędkości wiatru pozwalają na bardziej dokładne obliczenia.

Zalety rozwiązania to:

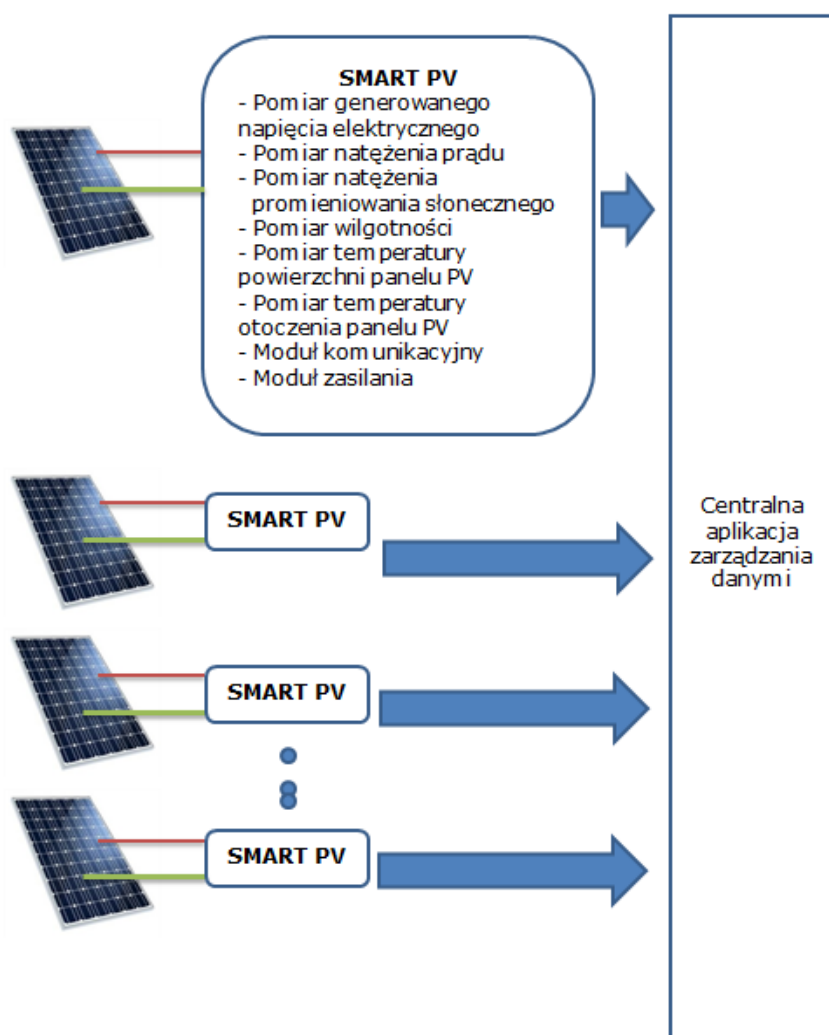
- szybkie wykrywanie błędów poprzez ciągłe porównywanie wydajności paneli,
- precyzyjny pomiar natężenia promieniowania słonecznego, temperatury modułu, temperatury otoczenia i prędkości wiatru,
- integracja istniejących systemów PV poprzez moduł RS485.

W połączeniu z Sunny Webbox i Sunny Portal, system zapewnia zdalny monitoring pracy małych instalacji fotowoltaicznych za pośrednictwem portalu internetowego. Monitoring obejmuje tylko parametry środowiskowe. Pod koniec 2015 r. firma postanowiła zrezygnować z ww. rozwiązań, na rzecz rozwoju nowoczesnych inwerterów.

4. Koncepcja układu elektronicznego

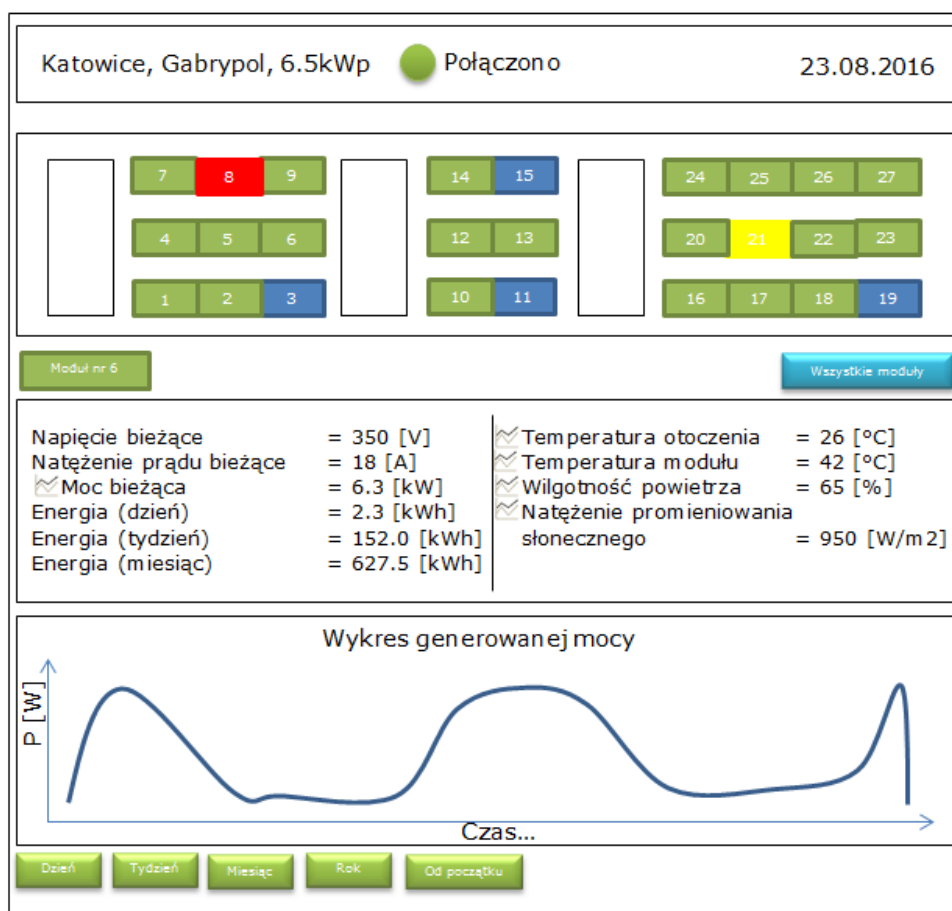
4.1. Struktura układu

W KOMAG-u opracowano koncepcję urządzenia SmartPV, w postaci indywidualnego interfejsu diagnostyki każdego modułu PV, połączonego z systemem bazodanowym, za pomocą bezprzewodowego medium transmisji danych. Moduł będzie zasilany bezpośrednio z modułu fotowoltaicznego, co umożliwi odczyt parametrów środowiskowych oraz elektrycznych każdego modułu. Strukturę systemu PV, z wykorzystaniem SmartPV, przedstawiono na rysunku 2.



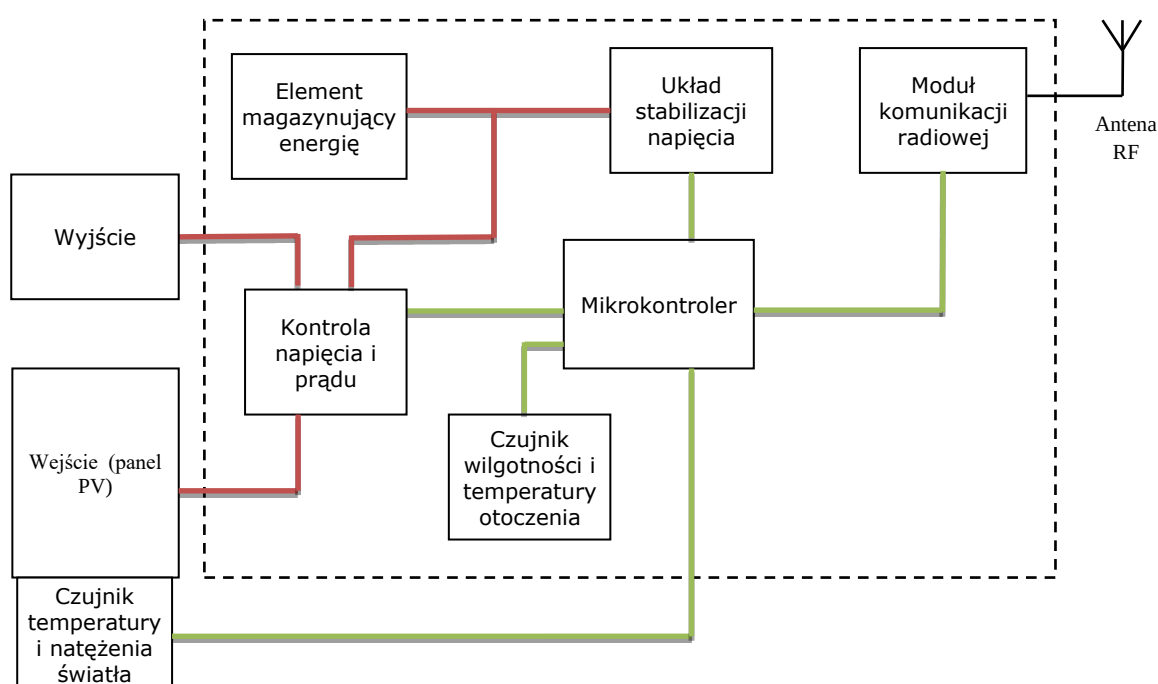
Rys.2. Struktura systemu fotowoltaicznego z wykorzystaniem paneli Smart PV [4]

Jest to innowacyjne rozwiązanie, gdyż dotychczasowe moduły dokonują diagnostyki na poziomie stringów lub całej instalacji. Rozwiązania umożliwiające częściowy indywidualny monitoring modułów PV – optyimizery lub mikroinwertery, są drogie i niewielu klientów się na nie decyduje. Ideą rozwiązania jest monitoring parametrów modułów fotowoltaicznych, takich jak: napięcie i natężenie prądu, temperatura powierzchni modułu, natężenia promieniowania słonecznego przy module oraz temperatury i wilgotności otoczenia. Zebrane dane będą wysyłane do centralnej aplikacji zarządzania danymi (rys. 3) za pomocą bezprzewodowego połączenia WiFi.



Rys.3. Projekt ekranu aplikacji wizualizacyjnej

Strukturę wewnętrzną modułu przedstawiono na rysunku 4.



Rys.4. Struktura wewnętrzna Smart PV [4]

Struktura układu elektronicznego składa się z:

- mikrokontrolera, analizującego parametry systemu,
- układu stabilizacji napięcia i ochrony przeciwprzepięciowej,
- czujnika prądu, mającego za zadanie kontrolę wartości natężenia prądu płynącego w obwodzie panelu fotowoltaicznego,
- układu pomiaru napięcia w obwodzie panelu fotowoltaicznego,
- czujnika natężenia światła słonecznego,
- termohigrometru, mierzącego temperaturę otoczenia oraz wilgotność,
- czujnika temperatury powierzchni panelu fotowoltaicznego,
- modułu komunikacji radiowej, zapewniającego komunikację z mikrokontrolerem oraz przesyłanie danych w standardzie WiFi,
- magazynu energii elektrycznej (kondensator).

Ze względu na zasilanie układu pomiarowego z alternatywnego źródła energii, wszystkie zastosowane rozwiązania układu elektronicznego powinny być w jak największym stopniu energooszczędne. W tym aspekcie istotny będzie dobór mikrokontrolera. Dążąc do ciągłej optymalizacji zużycia prądu w mikrokontrolerach typu AVR firma ATMEL wprowadziła technologię o nazwie picoPower, umożliwiającą zmniejszenie poboru prądu, zarówno w stanie aktywnym, jak i w stanach bezczynności. Główne czynniki charakteryzujące technologię picoPower to [8]:

- zmniejszenie minimalnej wartości napięcia zasilania do wartości 1,8 V, przy zachowaniu pełnej funkcjonalności mikrokontrolera;

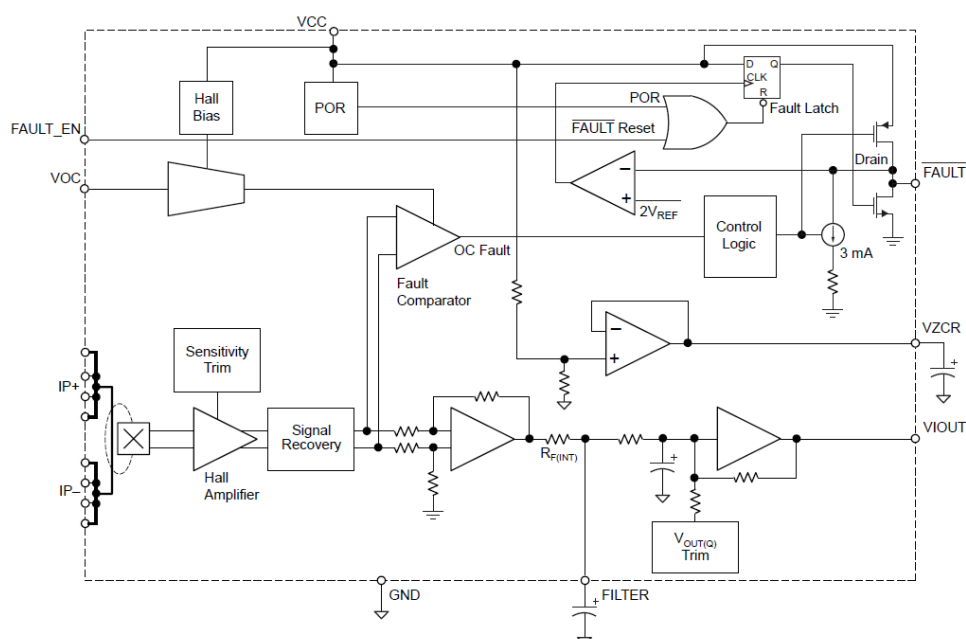
- minimalizacja prądów upływu ($< 0,1 \mu\text{A}$);
- wyłączanie układu *Brown-out*, gdy nie jest on wykorzystywany;
- wprowadzenie trybu uśpienia *Power-save*, w którym pracuje także układ zegarowy.

W module SmartPV zastosowany zostanie mikrokontroler ATMEGA 1284P. Jest to 8-bitowy układ oparty o architekturę RISC (*Reduced Instruction Set Computing*). Mikrokontroler posiada 128 kb programowalnej pamięci FLASH, czyli tyle co rozbudowana ATMEGA 128 (TQFP64), jednak w mniejszej obudowie (TQFP44), co znacznie upraszcza projektowanie układu. Zasilanie układu powinno zawierać się w granicach od 1,8 V (przy prędkości do 4 MHz) do 5,5 V (przy prędkości do 20 MHz). Mikrokontroler będzie pracował z szybkością 16 MHz, ze względu na konieczność wykonywania szybkich obliczeń diagnostycznych modułu i komunikację bezprzewodową, i będzie zasilany napięciem 5 V. Maksymalny pobór prądu przez mikrokontroler, w trybie aktywnym, to 12 mA. Istotny będzie fakt, że mikrokontroler nie będzie pracował aktywnie przez cały czas. Zasadne będzie więc wykorzystanie trybów uśpienia mikrokontrolera.

Układ zasilania SmartPV powinien być również wyposażony w układ ochrony przed przepięciami. Moduł będzie eksploatowany razem z modułami fotowoltaicznymi, w związku czym zagrożony będzie możliwością pojawienia się przepięć elektrostatycznych oraz przepięć wywołanych wyładowaniami atmosferycznymi. Zabezpieczenie przepięciowe będzie zrealizowane trzyetapowo. Pierwszy ogranicznik będzie składać się z rezystora, który będzie polimerowym bezpiecznikiem oraz iskrownikiem, o napięciu zadziałania 90 V. Drugie zabezpieczenie będzie składać się z tranzystora, rezystora oraz diody i zapewni ochronę przy przepięciach rzędu 150 V – 100 ms. Ograniczniki będą połączone ze sobą cewką i diodą, które utworzą linię długą oraz zabezpieczą moduł przed odwrotnym napięciem zasilania. Ostatnim zabezpieczeniem będzie dioda, która ograniczy przepięcia stanów nieustalonych stabilizatora impulsowego i zapewni stałe napięcie 5 V. Cewka oraz kondensatory w układzie zasilania zapewnią odpowiednie filtrowanie napięcia. W układzie zastosowane będą dwa stabilizatory – 5 V (do zasilania mikrokontrolera i układów pomiarowych) oraz 3,3 V (do zasilania układu komunikacyjnego).

4.2. Moduł pomiaru napięcia i natężenia prądu

Wartość natężenia prądu płynącego przez panel fotowoltaiczny będzie monitorowana na bieżąco przez czujnik prądu (czujnik Halla), którego strukturę wewnętrzną zaprezentowano na rysunku 5.



Rys.5. Struktura czujnika prądu [6]

Układ dedykowany będzie do pomiaru natężenia prądu o maksymalnej wartości 12,5 A. Czułość układu wynosi 56 mV/A, natomiast sygnał wyjściowy zmienia się proporcjonalnie do wartości płynącego prądu. Przy założeniu pomiaru natężenia prądu w zakresie 0÷8 A, wartość sygnału wyjściowego będzie zawierała się w granicach 2,5÷3 V. Jest to zbyt mała różnica napięć, żeby móc przeprowadzić dokładny pomiar za pomocą mikrokontrolera, na którego wejście można podać sygnał analogowy w zakresie 0÷5 V. W tym celu sygnał wyjściowy z czujnika prądu będzie dostosowany do możliwości μC , wykorzystując przetwornik pomiarowy, zbudowany z wykorzystaniem wzmacniacza operacyjnego. Przetwornik będzie składał się z dwóch torów sygnałowych. Pierwszy tor będzie odpowiadał za przetworzenie wspomnianego sygnału z czujnika prądu na sygnał 0÷5 V. Drugi będzie służył to odpowiedniego dopasowania napięcia z panelu PV, do wejścia μC (0÷5 V).

4.3. Czujnik natężenia promieniowania słonecznego

Do pomiaru natężenia promieniowania słonecznego, zostanie zastosowany czujnik przetwarzający światło o długości fali z zakresu od 320 nm do 1050 nm, na mierzalną, proporcjonalną częstotliwość. Widok płytki z czujnikiem natężenia światła zaprezentowano na rysunku 6.



Rys.6. Płytki z czujnikiem natężenia światła [5]

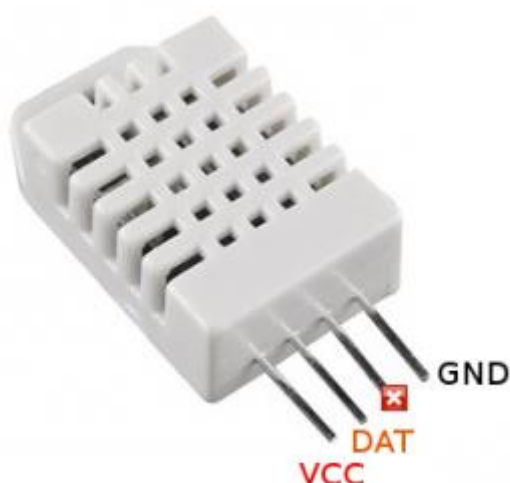
Cyfrowy czujnik natężenia światła działa w zakresie 1 - 65535 lx, z rozdzielczością 1 lub 4 lx, w zależności od wybranego trybu pracy. Komunikuje się poprzez interfejs I2C, czyli dwie linie: danych - SDA i zegarową SCL. Pozwoli to na łatwe podłączenie go do mikrokontrolera z wykorzystaniem jedynie czterech przewodów. Moduł z tym układem umożliwi szybkie pomiary natężenia oświetlenia.

4.4. Pomiar temperatury powierzchni panelu i parametrów środowiskowych

Wzrost promieniowania słonecznego wpływa na wydajność układów fotowoltaicznych (spadek 0 - 0,45%/°C). W przypadku dużych instalacji, zmiany te mają duży wpływ na ilość wytworzonej energii elektrycznej. Do monitorowania zmian temperatury, stosowane są czujniki termoelektryczne.

Proponowany w SmartPV czujnik temperatury to popularny cyfrowy termometr (czujnik cyfrowy), wyposażony w interfejs komunikacyjny 1-wire, który jest rodzajem interfejsu elektronicznego, jak również i protokołu komunikacyjnego pomiędzy dwoma (lub więcej) urządzeniami. Dodatkowo, odbiornik może być zasilany bezpośrednio z linii danych. Odbiornik wyposażony jest w kondensator o pojemności 800 pF, który jest ładowany bezpośrednio z linii danych - następnie zgromadzona w nim energia używana jest do zasilania odbiornika.

Do pomiaru wilgotności i temperatury otoczenia zastosowano zintegrowany 8-bitowy czujnik temperatury i wilgotności, z interfejsem 1-wire (rys. 7).



Rys.7. Widok czujnika wilgotności [7]

Podłączenie czujnika wymaga podania zasilania 5 V oraz doprowadzenia pinu sygnałowego do mikrokontrolera. Odczyt temperatury i wilgotności odbywa się tak, jak w przypadku czujnika temperatury z interfejsem 1-wire.

4.5. Moduł komunikacji bezprzewodowej

W układzie SmartPV zastosowany będzie miniaturowy moduł bezprzewodowej komunikacji radiowej WiFi (rys. 8).



Rys.8. Moduł Wifi [9]

Działa on w standardzie Wi-Fi 802.11 b/g/n na częstotliwości 2,4 GHz. Układ wyposażony jest w 16 wyprowadzeń o rastrze 2,54 mm, z czego 9 wyprowadzeń może zostać wykorzystane jako porty wejścia/wyjścia (GPIO). Układ posiada wbudowaną pamięć typu Flash 512 kB. Układ posiada ceramiczną antenę nadawczą, oraz możliwość podłączenia zewnętrznej anteny, co pozwala na zwiększenie zasięgu działania. Maksymalna moc nadajnika wynosi 19 dBm. Układ umożliwia odciążenie pracy procesora poprzez realizację obsługi stosu Wi-Fi wewnątrz układu. Procesor może komunikować się z układem Wi-Fi poprzez magistralę UART, SPI, I2C. Maksymalna moc pobierana przez układ to ok. 200 mW.

4.6. System komunikacyjny

Ostatnim etapem cyklu pomiarowego, odnoszącego się do parametrów pracy ogniów PV, będzie nawiązanie komunikacji bezprzewodowej z układami diagnostycznymi ogniów sąsiednich (komunikacja typu Ad Hoc) i przesłanie danych do komputera centralnego. Biorąc pod uwagę liczbę ogniów zainstalowanych w elektrowniach, utworzona sieć bezprzewodowa może mieć wysoce złożoną strukturę o topologii kraty (siatki, mesh). W sieciach tego typu spotyka się coraz częściej implementacje protokołów trasowania (routingu), oparte na technikach i metodach sztucznej inteligencji. Efektywne trasowanie jest szczególnie istotne w przypadku sieci zbudowanych w topologii siatki z zaimplementowanym mechanizmem Ad Hoc. Sieć Ad Hoc często stanowią wieloskokowe struktury, gdzie na odcinkach pomiędzy poszczególnymi węzłami mogą wystąpić bardzo niskie przepustowości, a komunikacja może odbywać się tylko w jednym kierunku [1, 2]. Sieci złożone strukturalnie charakteryzują się szeregiem koniecznych do rozwiązania problemów, z których najistotniejsze to:

- mobilność,
- liczba przeskoków pakietów danych,
- samoorganizacja,
- oszczędzanie energii,
- skalowalność,
- bezpieczeństwo.

Protokół trasowania zapewnia drogę pakietom z węzła źródłowego do węzła będącego punktem docelowym. Biorąc pod uwagę wymienione ograniczenia sieci Ad Hoc, realizacja tego zadania nie będzie łatwa. Dostępnych jest wiele odmiennych protokołów trasowania, które mogą zostać zaimplementowane w mobilnych sieciach Ad Hoc.

W celu osiągnięcia stabilnej i wydajnej transmisji danych pomiarowych zaproponowano zbudowanie samoorganizującej się struktury komunikacyjnej, która bazuje na jednej z technik sztucznej inteligencji nazywanej inteligencją roju, będącą bezpośrednią implementacją zjawisk i zachowań obserwowanych w przyrodzie wśród organizmów żyjących w licznych grupach. Zachowania te można w pewnym zakresie przełożyć na działanie protokołów trasowania. Opracowane przez człowieka struktury systemowe, niezależnie od faktycznej implementacji, korzystające z algorytmów roju, odznaczają się znacznymi możliwościami adaptacyjnymi i wysoką niezawodnością działania. Zasady samoorganizacji bazujące na obserwacjach grup zwierząt opisują trzy reguły, mianowicie:

- rozdzielność – sterowanie zapobiegające lokalnym zgrupowaniom jednostek; rozdzielność zapobiega kumulowaniu struktur sprzętowych lub decyzyjnych,
- spójność – działanie w kierunku uśrednionego zachowania lokalnej grupy jednostek,
- wyrównywanie – działanie w kierunku uśrednionego celu lokalnej grupy.

Wyrównywanie zapewnia jednostce możliwość dostosowania swojego działania do innych jednostek z jego lokalnej grupy.

Opierając się na powyższych zasadach, zaproponowano utworzenie systemu komunikacyjnego utworzonego przez sieć sensorów, w którym trasowanie bazuje na następującym algorytmie [2]:

- a) trasowanie wstępne – tryb trasowania będzie wywoływany podczas uruchamiania sieci i zawsze inicjowany będzie przez stację brzegową;
- b) trasowanie cykliczne – po 3 stosunkowo szybkich cyklach trasowania wstępnego, wywołanych przez stację brzegową, zmienia ono swoją rolę na trasowanie cykliczne i jest wykonywane w postaci zapytań DISCOVERY, generowanych przez stację brzegową, co zdefiniowany dłuższy interwał czasu. Trasowanie cykliczne ma za zadanie utrzymanie struktury komunikacyjnej w sytuacjach awarii węzłów bądź włączenie nowych węzłów do struktury sieci. Ponadto trasowanie cykliczne wywołuje algorytmy optymalizacji rojowej w poszczególnych węzłach sieci. Algorytm przebiegu trasowania cyklicznego jest podobny do trasowania wstępnego;
- c) trasowanie optymalne – algorytm trasowania wykonywany jest lokalnie, w każdym z węzłów sieci, w czasie normalnej transmisji danych, które nasłuchują komunikatów DISCOVERY trasowania cyklicznego.

5. Podsumowanie

Badania rynku akcesoriów oraz paneli fotowoltaicznych potwierdzają brak nowoczesnego, niedrogiego urządzenia, mierzącego wymagane normą parametry pracy instalacji fotowoltaicznej w czasie rzeczywistym, niezbędne do dalszej diagnostyki. Główną zaletą interfejsu SmartPV jest monitoring bezpośredni, na poziomie modułów PV. Kolejnym aspektem przemawiającym na korzyść rozwiązania, jest znaczne ograniczenie kosztów związanych z diagnostyką okresową (np. kamera termowizyjna).

System zarządzania danymi na bieżąco będzie informował użytkownika o potencjalnych stanach awaryjnych, występujących podczas eksploatacji. Układ przetwarzania oraz archiwizacji danych, wraz z czujnikami, będzie montowany bezpośrednio na panelu fotowoltaicznym, z wykorzystaniem standardowych złączy MC4, co zapewni szybki montaż. System nie wymaga dodatkowego zasilania, ponieważ funkcjonuje przy wykorzystaniu energii pochodzącej bezpośrednio z paneli fotowoltaicznych.

Wykorzystanie najnowocześniejszych metod produkcji może ograniczyć koszty wytworzenia urządzenia, co w konsekwencji przyczyni się do szerokiej dostępności interfejsu SmartPV. W Komag-u kontynuowane są dalsze prace zmierzające do utworzenia prototypu urządzenia.

Literatura

1. Stankiewicz K.: Koncepcja metody samoorganizacji złożonego systemu komunikacyjnego do zastosowań w górnictwie. KOMTECH 2012, Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo - Efektywność - Niezawodność, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2012 s. 329-337.
2. Stankiewicz K.: Koncepcja środowiska symulacyjnego do oceny samoorganizacji trasowania w sieci sensorycznej. Masz. Gór. 2015 nr 2 s. 3-8, ISSN 0209-3693.
3. Polska Norma PN-EN 61724, marzec 2002, Monitorowanie własności systemu fotowoltaicznego. Wytyczne pomiaru, wymiany danych i analizy.
4. Praca statutowa ITG KOMAG - Opracowanie koncepcji inteligentnego panelu fotowoltaicznego (praca niepublikowana), 2016.
5. Karta katalogowa czujnika nasłonecznienia BH1750.
6. Karta katalogowa czujnika prądu ACS710.
7. Karta katalogowa czujnika temperatury i wilgotności DHT22.
8. Karta katalogowa mikrokontrolera ATMEGA1284P.
9. Karta katalogowa modułu WiFi ESP8266.
10. www.pv-polska.pl – Polskie Towarzystwo Fotowoltaiki.
11. www.solaredge.com

System oceny zgodności wyrobów jako jeden z podstawowych czynników zapewnienia bezpieczeństwa ich użytkowania

Andrzej Figiel - Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie: W rozdziale, na podstawie doświadczeń Instytutu Techniki Górniczej KOMAG w zakresie oceny zgodności wyrobów, zaprezentowano jej wpływ na zapewnienie bezpieczeństwa ich użytkowania oraz jej usytuowanie w systemie zarządzania bezpieczeństwem obejmującym wszystkie działania, które przyczyniają się do osiągnięcia i utrzymania założonego poziomu bezpieczeństwa.

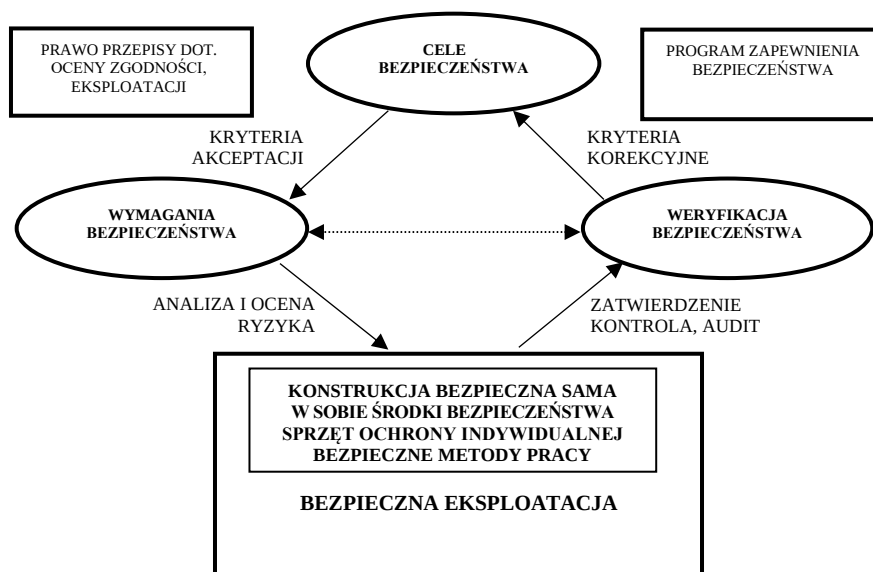
System for assessing the products conformity as one of the most important factors of their safe use

Abstract: On the basis of experience of KOMAG Institute of Mining Technology regarding the assessment of products conformity, its impact of products safety use is given as well as importance of conformity assessment in the safety management system including all actions, which enable to reach and maintain the required level of safety, is presented.

1. Wprowadzenie

Podstawowymi czynnikami decydującymi o bezpieczeństwie użytkowania wyrobów są:

- projektowanie i wytwarzanie wyrobów z uwzględnieniem wyników analizy i oceny ryzyka, tak, aby:
 - zagrożenia zostały wyeliminowane lub ryzyko związane z nimi było ograniczone do poziomu akceptowalnego,
 - źródła zagrożeń były monitorowane tak, aby poprzez zainicjowanie działań zapobiegawczych nie dopuścić do wzrostu ryzyka,
- stosowanie bezpiecznych metod pracy oraz zapewnienie odpowiednich środków ochrony zbiorowej oraz sprzętu ochrony indywidualnej.



Rys. 1. Model systemu zarządzania bezpieczeństwem [1]

Analiza i ocena ryzyka mieści się pomiędzy wymaganiami bezpieczeństwa określonymi przez prawo i narzucone cele bezpieczeństwa a działaniami uwzględniającymi podjęte środki bezpieczeństwa, tworzącymi razem system zarządzania bezpieczeństwem [1].

Tak zdefiniowana analiza i ocena bezpieczeństwa jest podstawowym elementem systemu zarządzania bezpieczeństwem i powinna być realizowana przez producentów, użytkowników, organy nadzoru rynku i inne wyspecjalizowane jednostki kontrolne, zaangażowane w nadzorowanie obiektów technicznych.

Wyniki oceny ryzyka przeprowadzonej na etapie projektowania pozwalają stwierdzić, czy przyjęte rozwiązania konstrukcyjne odpowiadają aktualnemu poziomowi wiedzy technicznej ustanowionemu w najnowszych wydaniach norm i obowiązujących przepisach technicznych. Z kolei na etapie eksploatacji, ocena ryzyka stanowi element procesu zarządzania bezpieczeństwem, obejmującego przyjęcie akceptowalnego poziomu ryzyka oraz identyfikację możliwości zmniejszania ryzyka poprzez wybór, zastosowanie i monitorowanie odpowiednich środków kontrolnych i organizacyjnych.

Podstawę prawną dotyczącą oceny zgodności stanowi ustawa z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności [2]. System oceny zgodności tworzą przepisy określające zasadnicze i szczegółowe wymagania dotyczące wyrobów oraz przepisy oraz normy określające działanie podmiotów uczestniczących w procesie oceny zgodności.

2. Działalność Instytutu Techniki Górniczej KOMAG w zakresie oceny zgodności wyrobów

Instytut Techniki Górniczej KOMAG posiada w swojej strukturze wydzieloną jednostkę organizacyjną Zakład Badań Atestacyjnych, Jednostka Certyfikująca, która z racji posiadanych uprawnień uczestniczy w procesach oceny zgodności wyrobów wymagających udziału „strony trzeciej”. Działalność jednostki w zakresie oceny zgodności wyrobów i systemów zarządzania jakością reguluje ww. ustawa [2] oraz rozporządzenia właściwych ministrów, wdrażające dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej do krajowego systemu prawnego, natomiast w zakresie dopuszczania wyrobów do stosowania w zakładach górniczych ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. - Prawo geologiczne i górnicze [3].

Potwierdzeniem kompetencji Zakładu Badań Atestacyjnych, Jednostki Certyfikującej do realizacji działań w zakresie oceny zgodności i dopuszczania wyrobów do stosowania w zakładach górniczych, jest:

- akredytacja nr AC 023 udzielona przez Polskie Centrum Akredytacji w Warszawie, w zakresie:
 - realizacji procedur oceny zgodności określonych w dyrektywie 2014/34/UE [4] (Moduł B: badanie typu UE, Moduł D: zgodność z typem w oparciu o zapewnienie jakości procesu produkcji, Moduł F: zgodność z typem w oparciu o weryfikację wyrobu, Moduł E: zgodność z typem w oparciu o zapewnienie jakości wyrobu, Moduł G: zgodność z typem w oparciu o weryfikację jednostkową),
 - certyfikacji na zgodność z wymaganiami norm wyposażenia ochronnego (bezpieczeństwa) maszyn, materiałów i urządzeń przeznaczonych do stosowania w atmosferach potencjalnie wybuchowych, pomp, hydraulicznych napędów i urządzeń sterowniczych, aparatury łączeniowej i sterowniczej, maszyn górniczych, urządzeń do

- wentylacji i klimatyzacji, urządzeń do transportu poziomego i pionowego, urządzeń do przeróbki kopalin, sprzętu dla dzieci i zabawek,
- wydawane opinie w sprawie wyrobów dopuszczanych do stosowania w zakładach górniczych, na podstawie art. 113 ust. 3 ustawy – Prawo geologiczne i górnicze [3], do których należą: elementy górniczych wyciągów szybowych m.in. maszyny wyciągowe, urządzenia sygnalizacji i łączności szybowej, wciągarki wolnobieżne, koła linowe oraz wyroby stosowane w wyrobiskach podziemnych m.in. urządzenia transportu linowego, kolejki podwieszane, kolejki spągowe, wozy do przewozu osób, wozy specjalne, maszyny i urządzenia elektryczne, aparatura łączeniowa na napięcie powyżej 1 kV prądu przemiennego lub powyżej 1,5 kV prądu stałego, systemy łączności, bezpieczeństwa i alarmowania, a także zintegrowane systemy sterowania kompleksów wydobywczych i przodkowych,
 - akredytacja nr AC 165, udzielona przez Polskie Centrum Akredytacji, w zakresie:
 - realizacji procedur oceny zgodności określonych w dyrektywie 2014/34/UE (Moduł D: zgodność z typem w oparciu o zapewnienie jakości procesu produkcji, Moduł E: zgodność z typem w oparciu o zapewnienie jakości wyrobu),
 - certyfikacji systemów zarządzania jakością,
 - notyfikacja Komisji Europejskiej (nr 1456) do wypełniania zadań jednostki notyfikowanej, określonych w dyrektywach: 2014/34/UE (ATEX) [4], 2006/42/WE (maszyny) [5], 2009/48/WE (zabawki) [6].

3. Zalety i korzyści oceny zgodności przeprowadzanej przez niezależną jednostkę

Rocznie Zakład Badań Atestacyjnych Jednostka Certyfikująca ITG KOMAG przeprowadza kilkaset procesów oceny zgodności. Na podstawie doświadczeń uzyskanych podczas realizacji tych procesów sformułowano szereg zalet i korzyści, jakie wynikają dla producentów poddających swoje wyroby ocenie dokonywanej przez niezależną od producenta i użytkowników jednostkę, tzw. „trzecią stronę”.

3.1. Wskazanie przepisów, którym podlega dany wyrób

Wszystkie wyroby wprowadzane do obrotu handlowego podlegają przepisom dotyczącym bezpieczeństwa. Obowiązkiem producenta jest określenie przepisów, jakim podlega dany wyrób. Większość wyrobów podlega co najmniej jednej dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady. Każda dyrektywa zawiera warunki wprowadzania wyrobów na rynek i dopuszczania do użytku, zasady swobodnego przepływu i domniemania zgodności, procedury oceny zgodności i oznakowania znakiem CE, wymagania dla jednostek notyfikowanych (o ile jednostki takie uczestniczą w procedurach oceny zgodności), zasadnicze wymagania bezpieczeństwa. W odniesieniu do wyrobów, dla których przepisy odrębne nie określają szczegółowych wymagań dotyczących bezpieczeństwa lub specyficzne zagrożenia nie są nimi objęte, wówczas mają zastosowanie wymagania ustawy z dnia 12 grudnia 2003 r. o ogólnym bezpieczeństwie produktów [7]. Ustalenie, jakim przepisom (dyrektywom) podlega dany wyrób w wielu przypadkach nie jest łatwe, stąd ważne jest wsparcie producenta w prawidłowej identyfikacji ustaw i rozporządzeń, które powinien uwzględnić w fazie projektowania

i wytwarzania tak, aby prawidłowo wprowadzić wyrób do obrotu handlowego oraz uniknąć kar z powodu pominięcia istotnych wymagań technicznych i proceduralnych.

3.2. Określenie wymagań zasadniczych oraz specyfikacji technicznych (norm), które producent powinien wziąć pod uwagę projektując i wytwarzając wyrób

Proces projektowania powinien obejmować przeprowadzenie oceny ryzyka, w celu określenia mających zastosowanie dla danego wyrobu, wymagań w zakresie bezpieczeństwa i ochrony zdrowia. Spośród wszystkich wymagań bezpieczeństwa należy wybrać takie, które dotyczą danego rozwiązania konstrukcyjnego, i z którymi zgodność należy potwierdzić i udokumentować. Wyrób powinien być zaprojektowany i wykonany z uwzględnieniem wszystkich, zidentyfikowanych w toku oceny ryzyka, wymagań bezpieczeństwa. Jest to podstawowy obowiązek producenta. Jednostka certyfikująca (notyfikowana) realizując procedurę oceny zgodności (np. badanie typu UE, certyfikację zgodności) weryfikuje uzyskane przez producenta wyniki oceny ryzyka. Powierzenie tego zadania doświadczonemu personelowi jednostki, posiadającemu kompetencje techniczne z różnych dziedzin, daje gwarancję prawidłowego zidentyfikowania wymagań, jakie musi spełnić poddany ocenie zgodności wyrób.

Zasadnicze wymagania bezpieczeństwa są wyjaśnione i uszczegółowione w tzw. normach zharmonizowanych, wydawanych przez CEN/CENELEC na podstawie mandatu udzielonego przez Komisję Europejską oraz Europejskie Stowarzyszenie Wolnego Handlu. Jeżeli wyrób jest zgodny z postanowieniami norm zharmonizowanych, domniemywa się, że spełnia również zasadnicze wymagania bezpieczeństwa zawarte w przepisach technicznych (dyrektywach).

Normy zharmonizowane stają się podstawą domniemania zgodności z odpowiednimi zasadniczymi wymaganiami dyrektywy, jeżeli spełnione są następujące warunki:

- w normach wskazano zasadnicze wymagania bezpieczeństwa, które są objęte ich zakresem,
- odwołanie się do nich opublikowano w Dzienniku Urzędowym Unii Europejskiej (ang. *Official Journal of the European Union OJ*),
- zostały one przetransponowane na szczebel krajowy przez co najmniej jedno państwo członkowskie.

Zgodność z normami zharmonizowanymi jest podstawowym sposobem osiągnięcia zgodności z określonymi zasadniczymi wymaganiami bezpieczeństwa. Przy wykorzystaniu własnych specyfikacji technicznych, innych niż normy zharmonizowane, wykazanie zgodności z zasadniczymi wymaganiami jest zadaniem bardziej skomplikowanym, wymagającym w pewnych przypadkach przeprowadzenia procedury oceny zgodności z udziałem niezależnej jednostki (np. badania typu UE).

Stan wiedzy technicznej ciągle się zmienia, co znajduje odzwierciedlenie przede wszystkim w normalizacji. Pojawiają się nowe normy, nowe wydania norm (przeciętnie co trzy, cztery lata).

Jedną z zalet oceny zgodności przeprowadzonej w Zakładzie Badań Atestacyjnych Jednostce Certyfikującej jest weryfikacja poprawności wyboru i stosowania norm

technicznych, z którymi zgodność zadeklarował producent. Dodatkowo klienci wyrobów poddanych procedurom oceny zgodności w Zakładzie Badań Atestacyjnych Jednostce Certyfikującej na bieżąco są informowani o zmienionych wymaganiach i ich wpływie na zgodność z dokumentami odniesienia. ITG KOMAG posiada w swojej strukturze wyspecjalizowaną komórkę organizacyjną odpowiedzialną m.in. za nadzorowanie zbioru ok. osiemnastu tysięcy norm. Specjaliści ITG KOMAG są aktywnymi członkami Komitetów Technicznych Polskiego Komitetu Normalizacyjnego. Znajomość zasadniczych i szczegółowych wymagań dotyczących wyrobów jest podstawą systemu oceny zgodności funkcjonującego w ITG KOMAG.

3.3. Określenie właściwej procedury oceny zgodności

W celu poświadczenia zgodności wyrobu z zasadniczymi wymaganiami bezpieczeństwa, producent powinien przeprowadzić procedury oceny zgodności obejmujące fazę projektowania oraz wytwarzania, zdefiniowane w mających zastosowanie dyrektywach. Wyboru właściwej procedury powinien dokonać producent, biorąc pod uwagę takie czynniki jak: rodzaj wyrobu, rodzaj produkcji (jednostkowa, seryjna), przeznaczenie wyrobu, co w przypadku wyrobów przeznaczonych do stosowania w strefach zagrożonych wybuchem ma odzwierciedlenie w ich klasyfikacji (wyroby zaliczone do grupy I kategorii M1 i M2 lub grupy II kategorii 1, 2, 3), ryzyko utraty zdrowia lub życia, normy i specyfikacje techniczne zastosowane w procesie projektowania i wytwarzania.

Procedury oceny zgodności przyjmują formę hierarchiczną związaną z poziomem bezpieczeństwa, który powinien być zapewniony. Wyroby, których stosowanie, ze względu na przeznaczenie i rodzaj, wiąże się z największym ryzykiem, podlegają procedurom oceny zgodności realizowanym przez jednostki notyfikowane Komisji Europejskiej. W przypadku, gdy dany wyrób podlega kilku dyrektywom, należy przeprowadzić odpowiednie procedury oceny zgodności przewidziane w każdej dyrektywie.

Doświadczenie personelu Zakładu Badań Atestacyjnych Jednostki Certyfikującej uzyskane podczas realizacji zadań jednostki notyfikowanej, określonych w dyrektywach: 2014/34/UE, 2006/42/WE, 2009/48/WE, pozwala na wskazanie producentom właściwych procedur oceny zgodności dotyczących m.in. maszyn, wyposażenia wymiennego, elementów bezpieczeństwa, osprzętu do podnoszenia, łańcuchów, lin i pasów, odłączanych urządzeń do mechanicznego przenoszenia napędów, maszyn nieukończonych, urządzeń przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej, urządzeń elektrycznych, zabawek.

3.4. Określenie składu i zawartości dokumentacji technicznej dla wykazania zgodności z wymaganiami

Każda z procedur oceny zgodności wymaga opracowania dokumentacji technicznej. Dokumentacja techniczna wyrobu powinna umożliwić ocenę jego zgodności z mającymi zastosowanie zasadniczymi wymaganiami dyrektywy oraz powinna obejmować m.in. analizę i ocenę ryzyka. Dokumentacja techniczna powinna obejmować, w stopniu odpowiednim dla takiej oceny, projekt, produkcję i działanie wyrobu.

Dodatkowo, dla wyrobów przeznaczonych do stosowania w atmosferze potencjalnie wybuchowej należy opracować dokument z wynikami oceny zagrożenia zapłonem, zawierający informację o:

- wszystkich potencjalnych źródłach zapłonu,
- środkach, które powinny być zastosowane w celu zapewnienia, że źródła zapłonu nie staną się efektywne,
- zastosowanej ochronie przed zapłonem.

Dokumentacja techniczna podlega sprawdzeniu w ramach procesów realizowanych przez Zakład Badań Atestacyjnych Jednostkę Certyfikującą ze względu na jej skład (czy odpowiada wymaganiom dokumentu odniesienia) i zawartość (czy informacje w niej zawarte są wystarczające do wykazania zgodności z wymaganiami).

Kolejnym, istotnym z punktu widzenia bezpieczeństwa, elementem procesu oceny zgodności jest weryfikacja informacji przekazywanych użytkownikowi wraz z wyrobem. Specjaliści jednostki certyfikującej sprawdzają, czy instrukcje zawierają wszystkie informacje niezbędne do bezpiecznego transportu, przemieszczania, magazynowania, uruchomienia, eksploatacji, utrzymania w ruchu (konserwacji), wyłączenia z ruchu, demontażu, pozbywania się, jak również postępowania w sytuacjach awaryjnych; czy informacje zawarte w dokumentacji jednoznacznie identyfikują przeznaczenie wyrobu i zawierają instrukcje określające prawidłowe i bezpieczne użytkowanie oraz szczególne warunki stosowania; czy ostrzegają o ryzyku resztkowym oraz zagrożeniach związanych z niedozwolonymi sposobami eksploatacji.

3.5. Weryfikacja wyników analizy i oceny ryzyka

W celu sprawdzenia, czy reprezentatywna próbka wyrobu spełnia zasadnicze wymagania w zakresie bezpieczeństwa i ochrony zdrowia oraz w celu sprawdzenia, w przypadku gdy producent zdecydował się na zastosowanie rozwiązań określonych w odnośnych normach zharmonizowanych, czy zostały one zastosowane prawidłowo, przeprowadza się odpowiednie badania i testy.

Badania są realizowane zgodnie z programem badań ustalonym przez Zakład Badań Atestacyjnych Jednostkę Certyfikującą przez:

- akredytowane laboratoria badawcze wchodzące w skład Instytutu Techniki Górniczej KOMAG:
 - Laboratorium Badań (akredytacja nr AB 039),
 - Laboratorium Badań Stosowanych (akredytacja nr AB 665),
 - Laboratorium Inżynierii Materiałowej i Środowiska (akredytacja nr AB 910),
- laboratoria zewnętrzne, których kompetencje potwierdzono na podstawie akredytacji lub własnej oceny (audytu),
- klienta, pod nadzorem jednostki certyfikującej - w przypadkach uzasadnionych specyfiką wyrobu.

Część wymagań może być potwierdzona analizami, obliczeniami, inspekcjami.

4. Podsumowanie

Działalność Instytutu Techniki Górniczej KOMAG w zakresie oceny zgodności jest jednym z elementów systemu zarządzania bezpieczeństwem. W rozdziale przedstawiono zalety oceny zgodności dokonywanej przez niezależną, w stosunku do producentów i użytkowników, notyfikowaną jednostkę certyfikującą - Zakład Badań Atestacyjnych Jednostka Certyfikująca. Działalność takiej jednostki wspiera producentów w rzetelnym wypełnieniu przez nich obowiązków określonych w przepisach (dyrektywach). Prawidłowa identyfikacja przepisów technicznych, wymagań zasadniczych dotyczących wyrobów, norm zharmonizowanych, procedur oceny zgodności, dokumentacji technicznej wymaganej realizowaną procedurą, zakresu badań i testów oraz ich wyniki upewniają wszystkie zainteresowane strony (producenta, użytkowników, organy nadzoru rynku), że wyrób spełnia zasadnicze wymagania bezpieczeństwa i może być wprowadzony do obrotu handlowego. Z tego powodu działalność Zakładu Badań Atestacyjnych Jednostki Certyfikującej przyczynia się do realizacji polityki bezpieczeństwa, której nadrzędnym celem jest ochrona zdrowia i życia osób.

Literatura

1. Figiel A., Tytko A.: Ocena zgodności maszyn i urządzeń górniczych. Gliwice 2004 s. 1-135.
2. Ustawa z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności (tekst jednolity Dz. U. z 2016 r. poz. 655).
3. Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze (tekst jednolity: Dz. U. z 2016 r. poz. 1131).
4. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/34/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej. OJ Nr 96 z dnia 29.03.2014 r.
5. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2006/42/WE z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn, zmieniająca dyrektywę 95/16/WE (przekształcenie). OJ Nr L 157 z dnia 9 czerwca 2006 r.
6. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/48/WE z dnia 18 czerwca 2009 r. w sprawie bezpieczeństwa zabawek (przekształcenie). OJ Nr L 170 z dnia 30 czerwca 2009 r.
7. Ustawa z dnia 12 grudnia 2003 r. o ogólnym bezpieczeństwie produktów (tekst jednolity: Dz. U. z 2015 r. poz. 322).

Teoretyczne wyznaczenie dynamicznego współczynnika dla stojaka zmechanizowanej obudowy ścianowej przy uderowym obciążeniu

Dawid Szurgacz – Katowicki Holding Węglowy KWK "Wujek"

Streszczenie: Przedstawiono analizę, w której określono dynamiczny współczynnik w oparciu o badania eksperymentalne dynamicznych zjawisk ciśnienia górotworu. Obciążenie dynamiczne jest bardzo niekorzystnym sposobem obciążenia elementów obudowy ścianowej. Wyniki badań stanowiskowych pozwoliły na wyznaczenia współczynnika dynamicznego. Obliczenia dla wyznaczenia współczynnika dynamicznego zostały wykonane w oparciu o uderowe obciążenie stojaka hydraulicznego zmechanizowanej obudowy ścianowej.

Theoretical determination of dynamic coefficient of leg of powered roof support at impact load

Abstract: This chapter presents an analysis which included determination of the dynamic coefficient on the basis of experimental tests of dynamic activity of rock mass pressure. Dynamic load impacting the elements of the roof support have negative effects. Results of bench tests allowed to determine the dynamic coefficient. The calculations for the dynamic coefficient determination were based on powered roof support's leg loaded by impact mass.

1. Wprowadzenie

Eksploatacja pokładów węgla kamiennego wywołuje zjawiska dynamiczne, których intensywność zwiększa się wraz ze wzrostem głębokości eksploatowanych złóż. Obciążenie zmechanizowanej obudowy ścianowej ciężarem skał nadległych, w których występuje ruch górotworu spowodowany wydobywaniem węgla generuje zjawisko wyładowania energii. Występują trzy zjawiska dynamiczne: tąpnięcia, wstrząsy i odprężenie górotworu. Dynamiczne obciążenie zmechanizowanej obudowy ścianowej definiuje się jako siłę zmienną w czasie działającą od strony górotworu na sekcję obudowy. Podstawowym zadaniem zmechanizowanej obudowy w kompleksie ścianowym jest podtrzymywanie stropu wyrobiska, a więc przenoszenie obciążenia wynikającego z nacisku warstw skalnych zalegających nad wyrobiskiem, które pod działaniem ciśnienia górotworu starają się wypełnić wybraną przestrzeń [5].

Obciążenie dynamiczne działające na stojak zmechanizowanej obudowy ścianowej określa się poprzez wyznaczenie współczynnika dynamicznego. Określając przeciążenie jakiemu jest poddany stojak hydrauliczny zostaje wyznaczony współczynnik, który odpowiada współczynnikowi bezpieczeństwa prac [4].

Na podstawie badań eksperymentalnych, jak również pomiarów drgań występujących blisko oceny obciążenia i prób zabezpieczenia zmechanizowanej obudowy ścianowej, pracującej w warunkach dynamicznych obciążeń górotworu, przeprowadzono badania

stanowiskowe stojaka hydraulicznego. Wyniki badań pozwoliły wyznaczyć wartość współczynnika dynamicznego przy uderzeniowym działaniu obciążenia [4, 6].

W niniejszym rozdziale przedstawiono analizę wpływu obciążenia dynamicznego na pracę stojaka zmechanizowanej obudowy ścianowej. Analizę wykonano w oparciu o stojak hydrauliczny dwuteleskopowy Ø 320 mm zmechanizowanej obudowy ścianowej typu KHW-12/28-POz dla różnych wysokości spadku masy uderowej.

2. Aktualne sposoby określania współczynnika dynamicznego

Współczynnik dynamiczny określany jest jako stosunek obciążenia będącego wynikiem działania sił zmiennych w czasie (obciążenie dynamiczne) do obciążenia statycznego. Jednak dla wielu przypadków definicja ta ulega modyfikacji. Oblicza się go zarówno na podstawie analiz teoretycznych, jak i na podstawie badań doświadczalnych. Sposoby określania współczynnika dynamicznego są różne w zależności od analizowanego obiektu oraz sposobu jego obciążenia. Poniżej zostały przedstawione przykłady metod jego wyznaczania dla przypadków obciążenia dynamicznego.

Badania prowadzone przez Szveda [8] nad obciążeniem dynamicznym działającym na zmechanizowaną obudowę ścianową określiły współczynnik przyrostu obciążenia dynamicznego, który jest stosunkiem ciśnienia dynamicznego (P_d), w przestrzeni roboczej stojaka, do ciśnienia statycznego (P_{st}) początkowego w tej przestrzeni. Jego wartość jest zmienna i mieści się w zakresie od 1,10 do 1,30.

$$K = \frac{P_d}{P_{st}} \quad (1)$$

Szuścik [7] na podstawie przeprowadzonej teoretycznej analizy wartości współczynnika dynamicznego występującego przy tąpnięciach dla sekcji obudowy zmechanizowanej określił, że jest to stosunek największego obciążenia sekcji do jej obciążenia statycznego. Uwzględniono również czas przyrostu oraz jego prędkość. Wartość tak wyznaczonego poniżej współczynnika dynamicznego waha się od 1,2 do 1,85.

$$V_t \cdot \Delta t = k_d - 1 \quad (2)$$

gdzie:

k_d – współczynnik dynamiczny,

V_t – prędkość przyrostu obciążenia,

Δt – czas przyrostu obciążenia.

Brodny [1] przy wyznaczaniu dynamicznego współczynnika uwzględnił działanie na dany ustrój zmiennej w czasie siły wymuszającej (np. siły harmoniczej) określonej równaniem podanym poniżej:

$$P(t) = P_0 \sin \omega t \quad (3)$$

Współczynnik dynamiczny określono jako stosunek amplitudy wywołanej działaniem siły zmiennej w czasie do odkształcenia statycznego spowodowanego działaniem siły P_0 , ale przyłożonej statycznie. Wyrażenie opisujące współczynnik dynamiczny (przy braku tłumienia) ma postać:

$$k_d = \frac{f^2}{f^2 - \omega^2} \quad (4)$$

gdzie:

f – częstotliwość drgań własnych konstrukcji,

ω – częstotliwość siły wymuszonej.

W przypadku udarowego działania masy spadającej z określonej wysokości na dany element konstrukcyjny, współczynnik dynamiczny wyznacza się z następującej zależności [2]:

$$K_{dyn} = \frac{f_{dyn}}{f_{st}} \quad (5)$$

gdzie:

f_{dyn} – odkształcenie przy obciążeniu spadającym z określonej wysokości masą,

f_{st} – odkształcenie przy obciążeniu statycznym tą samą masą.

Opisane w literaturze sposoby wyznaczania współczynnika dynamicznego wykazały, że zachodzące zjawiska dynamiczne oprócz negatywnych skutków, jakie wywołują, należą również do zjawisk złożonych, które są trudne do zdefiniowania i opisanie.

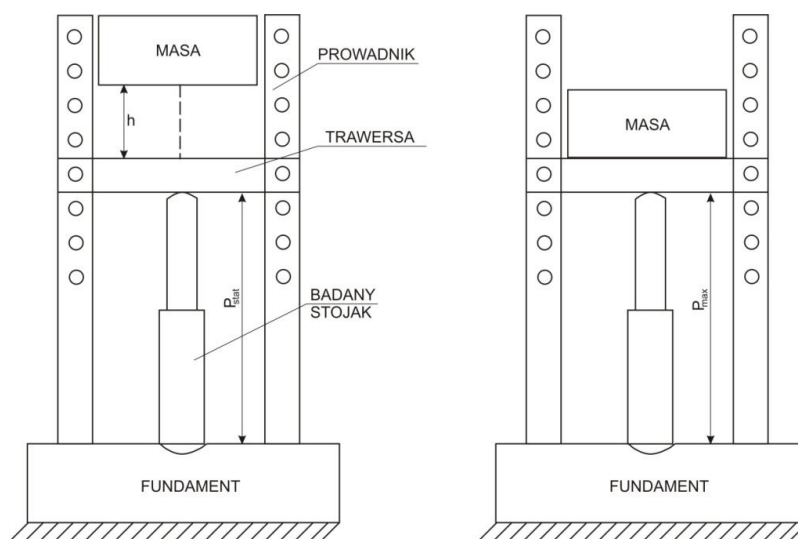
Przedstawione w punkcie 2 niniejszego rozdziału zależności zostały wykorzystane przy wyznaczaniu współczynnika dynamicznego dla stojaka obudowy ścianowej przy udarowym obciążeniu.

3. Określanie współczynnika dynamicznego przy udarowym działaniu obciążenia

W warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu dochodzi do dynamicznego oddziaływaniu górotworu na zmechanizowaną obudowę ścianową, które może być oddziaływaniem wywołanym przez eksploatację ściany. Dla obudowy możemy przyjąć, że jest to występujący w krótkim czasie przyrost działającego na nią obciążenia. Dla wyznaczenia współczynnika dynamicznego przyjęto udarowe obciążenie działające na obudowę. W analizie stanowiskowej przyjęto, że jest to przypadek najbardziej zbliżony do rzeczywistości.

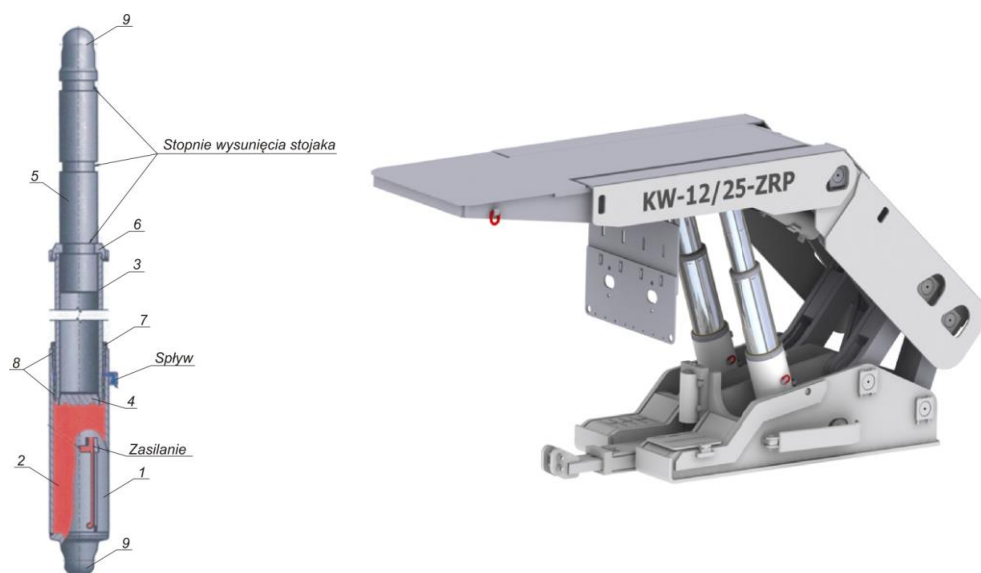
Wartość współczynnika dynamicznego przy udarowym działaniu obciążenia został wyznaczony dla stojaka hydraulicznego dwuteleskopowego zmechanizowanej obudowy ścianowej. Analizowany stojak został obciążony spadającą masą. Na rysunku 1 przedstawiono

sposób obciążenia i zamocowania stojaka. Do analizy przyjęty został stojak $\varnothing 320$ mm o podporności roboczej 2,7344.



Rys.1. Sposób obciążenia siłą dynamiczną stojaka [źródło: opracowanie własne]

Analizowany stojak (rys. 2) jest głównym elementem podpierającym w zmechanizowanej obudowie ścianowej. Zasadniczym elementem stojaka hydraulicznego jest cylinder (1) wypełniony cieczą (2), rurowy rdzennik (3) zakończony tłokiem (4). Na tłoczysku może być osadzony przedłużacz (5), którego położenie ustala dzielony pierścień (6). Tłok i tłoczysko są uszczelnione (7) i prowadzone ślizgowo (8) w cylindrze. Stojaki umocowane są w obudowie zmechanizowanej za pomocą przegubów kulistych (9) [10].



Rys. 2. Budowa stojaka zmechanizowanej obudowy ścianowej

Współczynnik dynamiczny dla stojaka zmechanizowanej obudowy ścianowej zdefiniowany został jako stosunek siły dynamicznej na skutek spadku masy m , do ciśnienia cieczy

hydraulicznej w stojaku, będącego wynikiem obciążenia wywołanego taką samą masą. Współczynnik dynamiczny dla omawianego przypadku został wyrażony wzorem:

$$K_d = \frac{P_{max}}{P_{stat}} \quad (6)$$

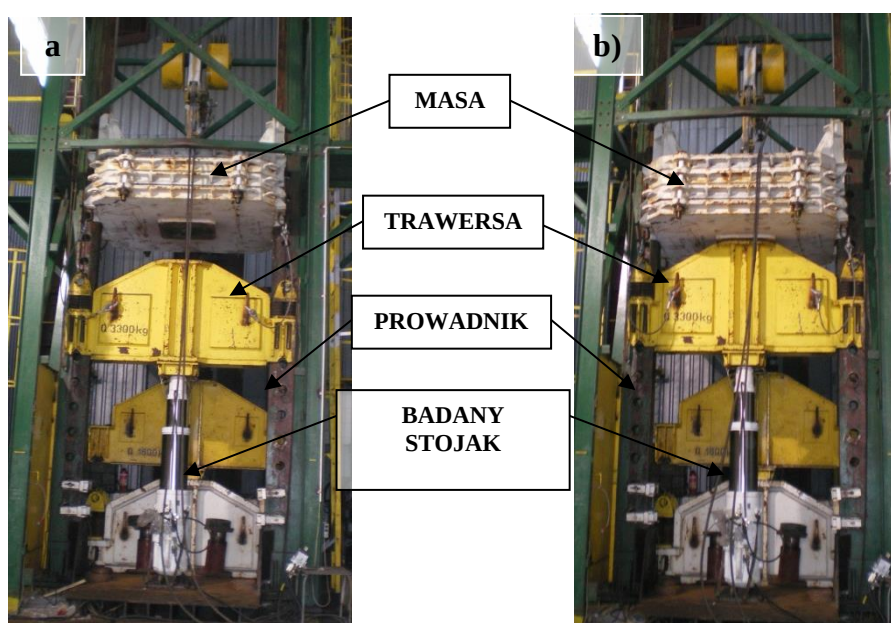
gdzie:

P_{max} – ciśnienie maksymalne zarejestrowane podczas próby w stanowisku w chwili czasu t_{max} (MPa),

P_{stat} – ciśnienie początkowe statyczne, zarejestrowane w stojaku w chwili czasu t_p (MPa).

Dla obliczenia wartości współczynnika dynamicznego wykorzystano zależność opisaną powyżej. Przy sposobie obciążenia uwzględniono masy spadające z różnej wysokości. Zmianie uległa zarówno wysokość, z jakiej spadała określona masa, jak i wielkość tej masy. W tym celu wykorzystano stanowisko do dynamicznych badań udarem masy Głównego Instytut Górnictwa.

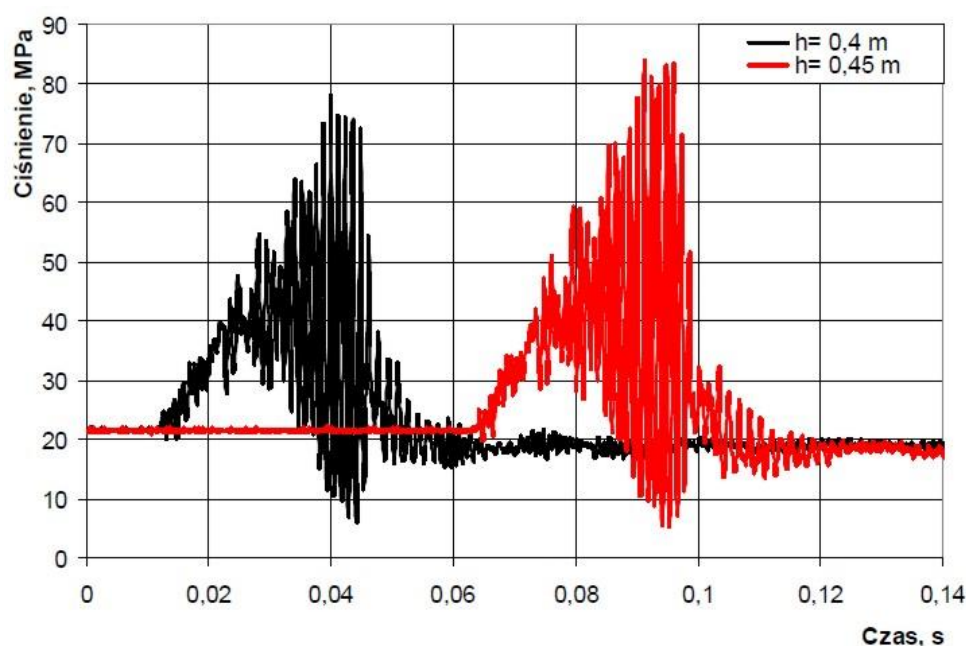
Badany stojak (rys. 3) był rozpierany między trawersom a fundamentem z podpornością wstępną, a następnie obciążony udarem swobodnie spadającej masy. Rozpieranie i rabowanie stojaka następowało przez zasilanie cieczą hydrauliczną ze stacji pomp. Badanie pod obciążeniem udarem masy przeprowadzono przy przestrzeni badawczej odłączonej od zasilania.



Rys. 3. Badanie stojaka w celu określenia współczynnika dynamicznego:

- a) wysokość z jaką spadnie masa (20000 kg) określono na 0,4 m
- b) stojak po udarowym obciążeniu [źródło: opracowanie własne na podstawie [3]]

Na rysunku 4 przedstawiono wzrost ciśnienia podczas udarowego działania obciążenia dla dwóch wysokości spadku masy.



Rys.4. Wzrost ciśnienia podczas próby przeciążenia stojaka dwuteleskopowego $\varnothing 320 \text{ mm}$ zmechanizowanej obudowy ścianowej typu KHW-12/28-POz
[źródło: opracowanie na podstawie [3]]

4. Podsumowanie

Jak wspomniano w niniejszej monografii, jako obciążenie zmechanizowanej obudowy ścianowej przyjmuje się siłę zmienną w czasie działającą od strony górotworu. Siła ta jest przenoszona poprzez stojak hydrauliczny wyposażony w układ sterowania, który determinuje bezpieczne użytkowanie. Dobór zmechanizowanej obudowy ścianowej uwzględnia siłę działającą od strony górotworu.

Przedstawiony przykład do analizy, w której określono współczynnik dynamiczny dla stojaka zmechanizowanej obudowy w oparciu o zależność (6), waha się w przedziale 1,4 – 1,7, w zależności od wzrostu ciśnienia. Określa on przeciążenie, jakiemu może zostać poddana obudowa w wyniku uderzenia masy.

W oparciu o przeprowadzoną analizę określającą współczynnik dynamiczny nie wyznaczono wpływu cieczy z wnętrza cylindra, co mogłoby pozwolić na przeprowadzenie analizy wielkości dynamicznych stojaka z zaworem bezpieczeństwa. Rozszerzenie w przyszłości badań stojaka hydraulicznego mogłoby wpłynąć na określenie dynamiki układu sterowania, który wpływa na bezpieczeństwo pracy całego kompleksu ścianowego.

Literatura

1. Brodny J.: Wyznaczenie współczynnika dynamicznego przy uderowym obciążeniu elementów obudowy górniczej. XVII Międzynarodowa Konferencja Naukowo–Techniczna TEMAG 2009, s. 21– 31. Gliwice - Ustroń 14 – 16 X 2009. ISBN 978-83-61442-08-0.

2. Osiński Z.: Mechanika ogólna. Wydawnictwa naukowe PWN. Warszawa, 1997.
3. Sprawozdanie GIG nr 572 05506-182, 2016: Badania techniczne stojaka 320/305/250/230x1351 obudowy KHW-12/28-POz wraz z układem podpornościowym (blok zaworowy DOH DN12 typu 2010 0312 0502 z zaworem SP10.C oraz zawór DOH typu 2020 0345 1000).
4. Stoiński K.: Metody wyznaczania obciążenia dynamicznego stojaków hydraulicznych oraz obudów ścianowych. Prace GIG. Katowice 1985.
5. Stoiński K.: Wybrane problemy współpracy obudowy wyrobisk górniczych z górotworem w warunkach obciążeń dynamicznych-tępań. ZN Pol. Śl. Gliwice, 1988.
6. Stoiński K.: Metoda badań stojaków hydraulicznych udarem masy. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Górnictwo 1990. Zeszyt 175
7. Szuścik W.: Dobór obudowy zmechanizowanej do warunków zagrożenia tąpnięciami. Tąpnięcia 2002. Prace GIG. Katowice 2002.
8. Szweda S.: Obciążenia dynamiczne obudów zmechanizowanych w ścianach zagrożonych eksplozywnymi tąpnięciami spodkowymi. Przegląd Górniczy nr 11, 1996.
9. Szuścik W., Bomersbach G.: Symulacja obciążeń dynamicznych w stojakach hydraulicznych. Prace naukowe - Monografie CMG KOMAG, 2004, Gliwice.
10. Tomski L.: Dynamika stojaków hydraulicznych obudów górniczych. Zeszyty naukowe Politechniki Częstochowskiej nr 17, Częstochowa, 1979.

Eksploracja układów transportowych – wdrażanie nowych rozwiązań i dobrych praktyk zwiększających poziom bezpieczeństwa

Sławomir Liszka - KHW S.A. KWK „Murcki-Staszic”

Streszczenie: Wpływ zagrożeń technicznych i technologicznych, związanych ze stosowaniem maszyn i urządzeń transportowych w podziemnych zakładach górniczych węgla kamiennego, na bezpieczeństwo eksploatacji w świetle obowiązujących przepisów. Optymalizacja wykorzystania dostępnych środków w celu osiągnięcia poprawy warunków pracy oraz zmniejszenia zagrożenia dla pracowników. Wdrażanie nowych rozwiązań i dobrych praktyk uwarunkowane zapewnieniem wysokiego poziomu bezpieczeństwa eksploatacji układów transportowych - na przykładzie Katowickiego Holdingu Węglowego S.A. Kopalnia Węgla Kamiennego „Murcki-Staszic”.

Operation of transportation systems – implementation of new solutions and good practices increasing safety

Abstract: Impact of technological and technical hazards associated with use of transportation machines and equipment in underground hard coal mining plants on operational safety in the light of current regulations. Optimization of using the available measures to improve work conditions and to reduce exposure to hazards. Implementation of new solutions and good practices ensuring high level of safety of transportation systems on the example of Katowice Coal Holding JSC - Murcki-Staszic coal mine.

1. Wstęp

Wpływ zagrożeń technicznych i technologicznych związanych ze stosowaniem maszyn i urządzeń transportowych w podziemnych zakładach górniczych, wynika wprost z ich budowy, przestrzegania eksploatacji zawartych w Dokumentacji techniczno-ruchowej (DTR) na bezpieczeństwo eksploatacji. Nowe rozwiązania oraz konstrukcje maszyn i urządzeń transportowych są wymuszane nie tylko przez postęp technologiczny, lecz głównie ze względu na coraz trudniejsze warunki górniczo-geologiczne. W dobie wysokiej koncentracji wydobywania koniecznym jest zapewnienie odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa oraz wprowadzania zmian w obowiązujących przepisach dotyczących bezpiecznej eksploatacji maszyn i urządzeń transportowych.

2. Odpowiedni dobór maszyn i urządzeń transportowych w świetle obowiązujących przepisów

Zagrożenia, które występują w podziemnych zakładach górniczych nakładają na producentów maszyn i urządzeń określone oraz specyficzne wymagania, które gwarantują bezpieczną eksploatację. Zgodnie z wymaganiami aktualnych przepisów w zakładach górniczych można stosować tylko takie maszyny oraz urządzenia transportowe, które spełniają wymagania dotyczące oceny zgodności lub zostały określone w przepisach o dopuszczeniu wyrobu do stosowania w ruchu zakładu górniczego i spełniają wymagania techniczne określone w tych przepisach.

Dziś eksploatacja maszyn i urządzeń transportowych stosowanych w podziemnych zakładach górniczych regulowana jest przez obowiązujące przepisy tj:

- Ustawa z dnia 9 czerwca 2011r. Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. z 2015r. Poz. 196 z późn. zm.).
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz.U. Nr 139, Poz. 1169 z późn. zm.).
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 kwietnia 2004 r. w sprawie dopuszczania wyrobów do stosowania w zakładach górniczych (Dz.U. Nr 99, Poz. 1003 z późn. zm.).
- Ustawa z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności (Dz.U. 2002 Nr 166 Poz. 1360 z późn. zm.).
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 października 2008 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn (Dz.U. Nr 199, Poz. 1228).
- Inne akty prawne.

Producenci analizują wszystkie zagrożenia w podziemnych zakładach górniczych w celu projektowania i wykonania urządzenia w taki sposób, aby wyeliminować lub zminimalizować ryzyko i zapewnić określony poziom bezpieczeństwa.

3. Wypadkowość

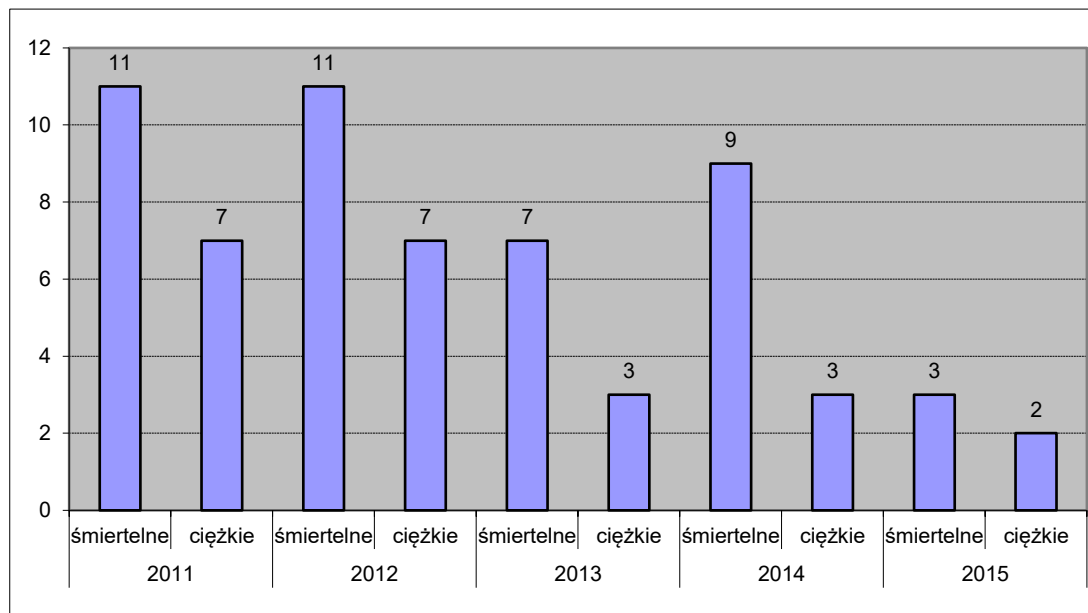
Wypadki związane są z wykonywaniem robót transportowych w podziemnych zakładach górniczych węgla kamiennego.

Analizując wypadkowość związaną z eksploatacją maszyn i urządzeń transportowych należy stwierdzić, że główną ich przyczyną jest nieprzestrzeganie przepisów bhp, jak również niewłaściwa eksploatacja i zły stan techniczny.

W górnictwie w latach 2011-2015 w związku z eksploatacją maszyn i urządzeń transportowych zaistniały łącznie 73 wypadki śmiertelne i ciężkie, co stanowi 38% wszystkich wypadków w tym okresie.

Liczba wypadków śmiertelnych i ciężkich związanych z eksploatacją maszyn i urządzeń transportowych w podziemnych zakładach górniczych
[źródło: opracowanie własne, dane WUG].

Tabela 1.



Nieprawidłowości związane z obsługą maszyn i urządzeń transportowych, takie jak wykonywanie prac przy przenośnikach będących w ruchu, czy przebywanie w zasięgu pracy maszyn pokazują, że znaczącym elementem jest czynnik ludzki. Świadomość załogi ma znaczący wpływ na poprawę bezpieczeństwa eksploatacji maszyn i urządzeń transportowych, w związku z powyższym istotnym staje się szkolenie i świadomość pracowników na zagrożenia powstające w skutek pracy tych urządzeń.

4. Ryzyko zawodowe

Obowiązek oceny, dokumentowania oraz informowania podległych pracowników o ryzyku zawodowym powiązanim z wykonywaną pracą oraz podjęcie stosownych rozwiązań i środków w celu minimalizacji tego ryzyka nakładają na pracodawcę obowiązujące przepisy (RMG §6.1.). Przy ocenie ryzyka zawodowego uwzględniane są wszystkie czynniki środowiskowe, które występują przy danych pracach, jak również sposoby wykonywania tych prac. Zwiększenie poziomu bezpieczeństwa oraz ochrony zdrowia pracowników uzyskuje się poprzez odpowiednie środki profilaktyczne i odpowiednią organizację pracy. Jednym ze sposobów ochrony zdrowia pracowników oraz poprawy bezpieczeństwa jest stosowanie tzw. dobrych praktyk, czyli rozwiązań organizacyjnych i technicznych w celu minimalizacji wypadków przy pracy oraz poprawę bezpieczeństwa i higieny pracy wśród pracowników. Dobre praktyki spełniają kilka ważnych aspektów, jak:

- Wyrażna oraz stała minimalizacja poziomu narażenia pracowników na zagrożenia techniczne i środowiskowe.

- Poprawa wydajności, warunków pracy oraz stała promocja bezpieczeństwa.
- Osiągnięcie założonych rezultatów.

5. Przykłady stosowania dobrych praktyk w podziemnych zakładach górniczych na przykładzie KWK „Murcki-Staszic”

5.1. Transport załogi

Dojście do stanowisk pracy ze względu na eksploatację przodków i ścian coraz bardziej oddalonych od szybów zjazdowych staje się uciążliwa a zarazem męcząca. Zmęczenie pracowników przed podjęciem jeszcze pracy powoduje obniżenie efektywności ich pracy oraz znacząco wpływa na poziom bezpieczeństwa, a także skutkuje większym prawdopodobieństwem wystąpienia zdarzeń niepożądanych jak wypadki lekkie. W nawiązaniu do powyższych argumentów kopalnie stosują szeroko rozwinięty transport załogi na docelowe miejsca pracy poprzez zastosowanie kolei podziemnej, kolejek podwieszonych, transportu załogi przenośnikami taśmowymi do tego celu przystosowanymi.

Transport załogi za pomocą kolei podziemnej realizowany jest za pomocą lokomotyw LD-31 wraz z zestawem wagonów osobowych do jazdy ludzi na odcinku 2000 metrów.

Kopalnia „Murcki-Staszic” prowadzi również transport załogi z użyciem kolejek podwieszonych i zestawu kabin osobowych KO-8 na dwóch odcinkach o długości 2600 oraz 2135 metrów.



Rys.1. Kabina osobowa KO-8 (źródło www.nettg.pl)

Badania przyczyn wypadków zaistniałych w kopalniach węgla kamiennego wskazują, że znaczna ich część to wypadki związane z jazdą na przenośnikach taśmowych nieprzystosowanych do jazdy ludzi. Podjęcie działań dążących do uruchomienia jak

największej ilości przenośników przystosowanych do jazdy ludzi jest zatem uzasadnione aspektem ekonomicznym, organizacyjnym i bezpieczeństwa.

Stosowanie przenośników taśmowych przystosowanych do jazdy ludzi jest coraz bardziej popularne w podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny ze względu na zalety takie, jak:

- Niski koszt eksploatacji.
- Wykorzystanie do transportu urobku, jak również jazdy ludzi.
- Duża powszechność stosowania.
- Wysoka zdolność przenoszenia.
- Możliwość prowadzenia jazdy ludzi na urobku.
- Obniżenie wydatku energetycznego i czasu dojścia pracowników.

System transportu załogi przenośnikami ma również swoje wady:

- Konieczność utrzymania gabarytów wyrobisk.
- Zagrożenie związane z wysiadaniem oraz wsiadaniem na taśmę będącą w ruchu.
- Konieczność utrzymania w odpowiednim stanie technicznym taśmy przenośnikowej.

Kopalnia „Murcki-Staszic” eksploatuje dwa przenośniki taśmowe przystosowane do jazdy ludzi z czego jeden na górnej oraz dolnej taśmie. Biorąc pod uwagę korzyści, jakie daje przystosowanie przenośników taśmowych do prowadzenia jazdy ludzi, kopalnia jest w trakcie przystosowania dwóch kolejnych ciągów odstawy głównej.

Przenośniki taśmowe przystosowane do jazdy ludzi w KWK „Murcki-Staszic”

Tabela 2.

Lp.	Pole	Wyrobisko	Rodzaj przenośnika	Długość [m]	Uwagi
1.	T	Pochylnia wentylacyjna T	Staszic 1200	1120	transport górną taśmą
2.	S	Pochylnia kamiennie-odstawcza do poziomu 900m	Pioma 1400	1054	transport załogi dwukierunkowy
3.	S	Chodnik odstawczo -badawczy poziom 900m	Staszic 1200	750	w trakcie przystosowania
4.	S	Chodnik odstawczo -badawczy poziom 900 m	Staszic 1200	1100	w trakcie przystosowania

5.2. „Moja maszyna”

Skuteczne wdrożenie na KWK „Murcki-Staszic” systemu/programu, który opiera się na pracy stałych zespołów „opiekujących” się maszynami, który z bardzo pozytywnym rezultatem został wprowadzony uprzednio na ruchu Boże Dary.

Program ten jest narzędziem łączącym transport i dział utrzymania ruchu – energomechaników przez wspólną odpowiedzialność za utrzymanie parku maszynowego. Gdy występuje problem z maszyną, operatorzy oraz obsługa energomaszynowa zazwyczaj obwiniają się wzajemnie o odpowiedzialność za awarie. Jednym z powodów takiego stanu rzeczy jest standardowy podział obowiązków związanych z parkiem maszynowym: wszelkie czynności związane z obsługą i pracą maszyn – nawet najprostsze – należą do obowiązków energomechaników. Rolą operatora jest transport oraz „wciskanie guzika”, chociaż też nie zawsze. Celem wdrożonego programu na KWK „Murcki-Staszic” jest zmiana stereotypu „ja transportuję – ty naprawiasz” poprzez włączenie operatorów maszyn w system utrzymania maszyny w sprawności i odciążenie energomechaników od wykonywania niejednokrotnie prostych czynności, które po krótkim przeszkoleniu wykonują również operatorzy. Operator pracujący na co dzień przy tej samej maszynie posiada olbrzymi zasób wiedzy dotyczącej jej funkcjonowania, najczęstszych usterek, niedoskonałości etc. Operator może nie znać powodów wystąpienia problemów ani konstrukcji problematycznych dla niego mechanizmów, lecz jest w stanie wskazać, gdzie i w jakich okolicznościach one występują.

Zespołom przekazywana jest wiedza oraz uprawnienia, które z czasem stworzą dobrze działający system utrzymujący park maszynowy w doskonałej kondycji. W skład zespołów „opiekujących” się maszynami wchodzi operatorzy, a także pracownicy utrzymania ruchu – mechanicy oraz elektrycy – w ten sposób uzyskuje się pożądaną wielofunkcyjność w każdym zespole. Przydzielenie odpowiedzialności pomaga w zarządzaniu dostępnym parkiem maszyn i pozwala na egzekwowanie obowiązków.

Aktualnie na KWK „Murcki-Staszic” przypisanych jest 12 maszyn do poszczególnych zespołów. Są to głównie nowe ciągniki obsługujące stałe punkty jak wyrobiska ścianowe i wyrobiska przygotowawcze. Wyłonienie wśród nich dwóch najlepszych brygad, co wiąże się z przyziałem dodatkowej premii, stanowi rywalizację, co znacznie pomaga w zarządzaniu parkiem maszynowym, jak również skraca czas ich serwisu.

Systematyczna, comiesięczna analiza jest przeprowadzana na podstawie książki awarii w poszczególnych ciągnikach oraz podpiętych w nich zestawach transportowych. Charakterystyka ta, polega na przypisaniu usterki ciągnika bądź zestawu transportowego, do jednej z trzech grup awarii tj.:

- spowodowane czynnikiem ludzkim,
- spowodowane czynnikiem technologicznym,
- spowodowane czynnikiem eksploatacyjnym.

W ten sposób wyłaniana jest najlepsza brygada/zespół. Charakteryzuje się ona najmniejszą liczbą awarii spowodowaną czynnikiem ludzkim.

Czas jaki upłynął od momentu wdrożenia programu „Moja Maszyna” pokazał, że drobne awarie, jak wycieki płynów etc. są naprawiane na poziomie kierowcy, nie angażując w ten

sposób obsługi energo-maszynowej. Zespoły wspólnie realizują przeglądy i bieżące konserwacje, wykonując przy tym samym powierzone zadania transportowe w ciągu doby. Awaryjność maszyn uczestniczących w programie obniżyła się o 32% względem wcześniejszych zgłoszeń, maszyny są bardziej zadbane, konserwowane a czas napraw usterek został skrócony średnio o 37% dzięki zdobyciu podstawowej wiedzy na temat działania poszczególnych układów kolejki. Kierowcy oraz obsługa energo-maszynowa utożsamiają się z powierzoną im maszyną, ułatwiając w ten sposób prawidłowe i racjonalne wykorzystanie posiadanego parku maszynowego.

5.3. Konteneryzacja

Podczas prac związanych z drażeniem wyrobisk jak i eksploatacją niezbędny jest materiał, aby zapewnić wymagany postęp. Prace transportowe, jak wynika ze statystyk, są jednymi z najbardziej wypadkogennych czynności, ze względu na liczne załadunki oraz przeładunki. Niejednokrotnie dochodzi do wypadków ciężkich podczas prac przeładunkowych pomiędzy punktami styku organizacyjnego kolei podziemnej, a kolejki podwieszanej spowodowanymi wywróceniem jednostek transportowych lub dociśnięciem pracowników w wyniku utraty stateczności tych jednostek. Kopalnia „Murcki-Staszic”, aby zminimalizować to zagrożenie, dąży do celu w którym jednostka transportowa załadowana na powierzchni dotarła na miejsce przeznaczenia bez zbędnego przeładunku. Transport ten odbywa się za pomocą kolei podziemnej i kolejek podwieszonych w jednostkach do tego typu prac przystosowanych (obecnie 80 sztuk). Kontenery materiałowe są ładowane na specjalne podwozia dzięki którym poruszają się po torach kolei i są odpinane podczas załadunku na zestawy transportowe kolejek podwieszonych gwarantując w ten sposób zachowanie stateczności.



Rys. 2. Zasobnik kontenerowy (źródło: zdjęcie własne, KWK „Murcki-Staszic”)

Taki system transportu zwiększa poziom bezpieczeństwa ze względu na eliminację czynności związanych z załadunkiem oraz przeładunkiem, jak również zmniejsza wydatek energetyczny pracowników i skraca czas związany z transportem w docelowe miejsce.

5.4. Inne rozwiązania organizacyjne i techniczne

Historia górnictwa pokazuje, że jednym z wielu zagrożeń występujących w tej dziedzinie przemysłu znaczący swój udział ma zagrożenie pyłowe. Pył powstający w wyniku procesów urabiania oraz transportu węgla jest przyczyną głównej choroby zawodowej – pylicy płuc. Pył ten ma również swój znaczący udział w potencjalnym wzroście zagrożenia wybuchu pyłu węglowego, który niesie za sobą wypadki śmiertelne. Podejmowanie działań zmierzających do ograniczenia zapylenia wyrobisk jest zatem bardzo istotne. Zastosowanie różnego typu zraszań, zaczynając od tych zabudowanych na organach urabiających, poprzez sektorowe zabudowane w ścianach wydobywczych, do punktowych zabudowanych na przesypach przenośników odstawy taśmowej przyczyniają się do minimalizacji tego zagrożenia.

Nawet najprostsze rozwiązania mogą przyczynić się do poprawy bezpieczeństwa pracy. Przykładem takich rozwiązań jest zastosowanie segmentowych pomostów metalowych. Pomosty drewniane sukcesywnie są zastępowane przez metalowe aby ograniczyć do minimum ryzyko związane z poślizgnięciem oraz poprawić komfort dojścia do stanowisk pracy.

6. Podsumowanie

W praktyce związanej z użytkowaniem maszyn i urządzeń transportowych oraz związanej z tym odpowiedzialnością osób na każdym szczeblu pokazuje, że przestrzeganie obowiązujących przepisów wystarczy aby zagwarantować bezpieczeństwo w ruchu zakładu górniczego. Można w tym momencie pokusić się o stwierdzenie, że obowiązujące przepisy i instrukcje w pełni zaspokajają odpowiedni poziom bezpieczeństwa, zaś skłonność człowieka do przesuwania granicy akceptowalnego poziomu ryzyka brnie w niewłaściwą stronę. Rutyna, ale też niejednokrotnie prozaiczne lenistwo, jest przyczyną większości wypadków śmiertelnych i ciężkich. Przedsiębiorca ze swojej strony stara się ułatwić eksploatację poprzez wprowadzanie dobrych praktyk ale też my, poszczególni użytkownicy, musimy działać w sferze szkoleń i rozmów z załogą uświadamiając im poziom ryzyka. Wiedza pracowników o specyfice zagrożeń naturalnych, jak i technicznych bardzo często jest niewystarczająca, dlatego podjęcie przedsięwzięć organizacyjnych jest bardzo ważną rolą w każdym zakładzie górniczym.

Literatura

1. Krzemień S.: Analiza i ocena ryzyka zawodowego oraz techniki jego redukcji.
2. Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. z 2015 r. Poz. 196 z późn. zm.).
3. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz.U. Nr 139, Poz. 1169 z późn. zm.).
4. Liszka S.: Program „Moja maszyna”, KHW S.A.
5. <http://www.wug.gov.pl>.
6. <http://www.nettg.pl/news/130166> - 12.10.2016

Wstrząsy górotworu i łąpania w latach 1981-2015

Zdzisław Kłeczek – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie: Z przedstawionych danych statystycznych za okres 1981-2015 wynika, że ponad 35% wydobytego węgla kamiennego i 100% wydobytych rud miedzi w Polsce pochodziło z rejonów zagrożonych łąpaniami. W olbrzymiej większości przypadków bezpośrednią przyczyną łąpań były wysokoenergetyczne wstrząsy górotworu. Wykazując wpływ wielkości wydobycia na ilość wstrząsów i wielkość wyzwolonej energii sejsmicznej, przedstawiono dane dotyczące zaistniałych łąpień i spowodowanych nimi wypadków.

Rock bursts and bumps within the years 1981-2015

Abstract: From the statistical data from years 1981-2015 it results that over 35% of mine hard coal and 100% of copper ore in Poland were mined in areas of bumping hazard. In the majority of cases high-energy bursts of rock mass were the reason of bumps. Data on bumps and accidents caused by them are given indicating the impact of production volume and amount of released seismic energy.

1. Wprowadzenie

Eksploracji węgla kamiennego i rud miedzi w Polsce od lat towarzyszą wstrząsy, jako zjawiska zaliczane do dynamicznych przejawów ciśnienia górotworu. Skutkiem wstrząsów mogą być łąpania lub odprężenia, które w następstwie prowadzą do gwałtownej utraty stateczności wyrobisk mogą być przyczyną utraty zdrowia lub życia znajdujących się w wyrobiskach ludzi, nie licząc strat materialnych, wynikających z uszkodzonych maszyn, urządzeń i uszkodzonych wyrobisk górniczych.

Zestawienie wydobycia, wysokoenergetycznych wstrząsów górotworu, łąpień i wypadków w kopalniach rud miedzi

Tabela 1.

Rok	Wydobycie 10 ⁶ [Mg]	Ilość wstrząsów ≥ 10 ⁵ [J]	Sumaryczna energia [GJ]	Ilość łąpień	Wypadki wskutek łąpień	
					ogółem	śmiertelne
1981	22,8	168	1,05	7	26	6
1982	27,0	221	1,33	9	9	3
1983	29,0	217	1,28	5	7	2
1984	29,4	286	1,77	5	3	1
1985	29,4	325	1,73	2	9	1
1986	29,6	446	1,72	4	10	-
1987	29,8	484	1,72	5	27	7

cd. tabeli 1

1988	30,0	482	1,75	1	2	1
1989	26,5	407	2,82	4	8	3
1990	24,4	447	1,29	2	12	2
1991	23,7	359	0,92	2	4	2
1992	24,1	499	1,22	-	-	-
1993	27,1	492	3,05	4	7	1
1994	26,1	433	2,84	2	6	5
1995	26,5	389	1,87	4	13	2
1996	27,4	644	1,82	4	12	3
1997	24,0	567	2,76	-	-	-
1998	26,8	443	2,80	2	9	3
1999	27,0	414	3,96	3	14	2
2000	28,0	514	7,11	4	4	2
2001	30,9	729	6,22	5	3	-
2002	29,7	694	7,36	8	15	3
2003	30,0	570	3,39	9	28	5
2004	31,8	621	6,56	8	15	1
2005	32,0	786	4,02	3	22	1
2006	32,9	872	5,65	2	5	-
2007	31,8	1011	1,97	3	10	4
2008	30,9	785	1,28	2	18	1
2009	31,2	474	1,82	4	11	1
2010	30,8	581	2,59	8	46	6
2011	31,2	581	1,44	1	5	-
2012	31,7	525	0,94	1	3	-
2013	32,2	531	1,35	1	18	-
2014	32,6	715	1,08	2	6	1
2015	33,2	642	1,22	1	2	-

O skali i wielkości tych zjawisk i ich skutkach w postaci wypadków nimi spowodowanych świadczą zestawienia obejmujące okres ostatnich 35 lat (1981-2015), dotyczące zarówno podziemnych kopalń rud miedzi (tabela 1), jak i kopalń węgla kamiennego (tabela 2).

**Zestawienie wydobywania, wysokoenergetycznych wstrząsów górotworu, tąpnięć
i wypadków w kopalniach węgla kamiennego**

Tabela 2.

Rok	Wydobycie 10 ⁶ [Mg]			Ilość wstrząsów ≥ 10 ⁵ [J]	Sumaryczna energia [GJ]	Ilość tąpnięć	Wypadki wskutek tąpnięć	
	roczne	z pokładów zagrożonych tąpnięciami					ogółem	śmiertelne
		10 ⁶ [Mg]	%					
1981	162,7	49,4	30,3	2336	11,03	29	73	4
1982	188,9	55,5	29,4	2545	4,39	20	105	29
1983	190,5	55,2	28,9	2749	11,05	14	46	4
1984	191,0	54,3	28,3	2970	14,59	16	66	20
1985	191,1	51,9	27,1	2480	14,04	16	54	9
1986	191,3	51,6	27,0	2606	9,66	27	83	22
1987	192,7	50,9	26,4	2260	6,33	11	51	7
1988	192,7	49,5	25,7	1599	2,05	13	48	3
1989	177,7	49,5	27,9	1076	2,44	16	77	7
1990	147,4	42,2	28,6	1038	2,09	16	36	6
1991	140,1	41,9	29,9	863	1,25	9	27	7
1992	131,3	41,8	31,8	833	6,00	10	45	9
1993	130,2	42,6	32,7	932	12,60	16	37	11
1994	132,7	43,0	32,4	750	1,49	12	47	4
1995	135,3	45,4	33,6	465	1,94	7	39	7
1996	136,2	44,2	32,5	564	1,07	2	21	3
1997	137,1	46,2	37,7	547	0,87	2	6	-
1998	115,9	41,9	36,2	663	0,68	5	17	2
1999	110,4	39,4	35,7	1135	1,59	2	3	-
2000	102,5	37,2	36,3	1088	2,12	2	-	-
2001	102,6	37,4	36,5	1137	1,85	4	21	2
2002	102,1	41,8	40,9	1324	1,96	4	20	3
2003	100,5	42,3	42,1	1524	2,82	4	18	2
2004	99,5	39,2	39,4	974	1,30	3	11	-
2005	97,0	41,6	42,9	1451	1,79	3	13	1
2006	94,4	42,1	44,6	1170	2,06	4	20	4
2007	87,5	40,5	46,3	885	2,21	3	10	-
2008	83,6	41,9	50,1	883	2,00	5	26	-
2009	77,4	34,3	44,4	741	2,25	1	5	-
2010	76,1	35,8	47,1	1203	4,44	2	15	2
2011	75,5	34,2	45,3	1044	1,86	4	7	1
2012	78,6	37,6	47,8	1069	1,78	1	3	1
2013	76,5	36,9	48,2	1584	2,11	1	5	-
2014	72,5	36,0	49,7	1766	3,90	1	-	-
2015	72,2	37,1	51,4	1548	9,70	2	2	2

Z przedstawionych danych statystycznych wynika, że 35% wydobytego węgla kamiennego i 100% wydobytych rud miedzi w Polsce pochodziło z rejonów zaliczonych do zagrożonych tąpnięciami.

W okresie minionych 35 lat (1981– 2015) wystąpiło:

- 44376 wysokoenergetycznych wstrząsów górotworu ($\geq 10^5$ J) w kopalniach węgla kamiennego,
- 18354 wysokoenergetycznych wstrząsów górotworu ($\geq 10^5$ J) w kopalniach rud miedzi.

Łączna wartość pomierzonego wydatku energetycznego (energii sejsmicznej) tych wstrząsów wyniosła:

- 149,27 GJ w kopalniach węgla kamiennego,
- 91,7 GJ w kopalniach rud miedzi.

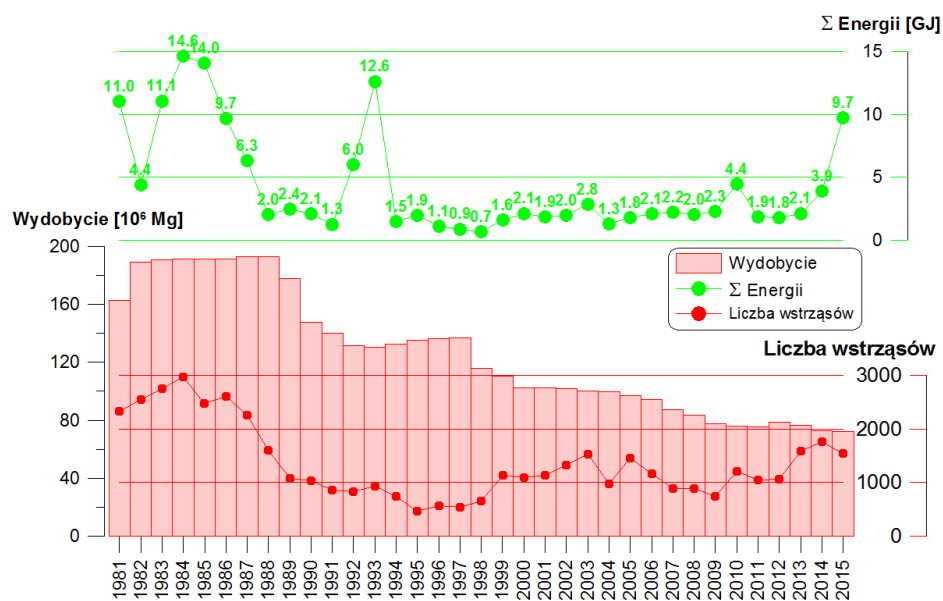
Statystycznie rzecz ujmując można stwierdzić, że 1 milionowi Mg wydobytego węgla z rejonów zagrożonych tąpnięciami towarzyszy ponad 28 wstrząsów górotworu, każdy o średniej energii sejsmicznej $3,36 \cdot 10^6$ J.

W kopalniach KGHM Polska Miedź S.A. na 1 milion Mg wydobytej rudy przypada ponad 18 wstrząsów, każdy o średniej energii sejsmicznej prawie $5 \cdot 10^6$ J.

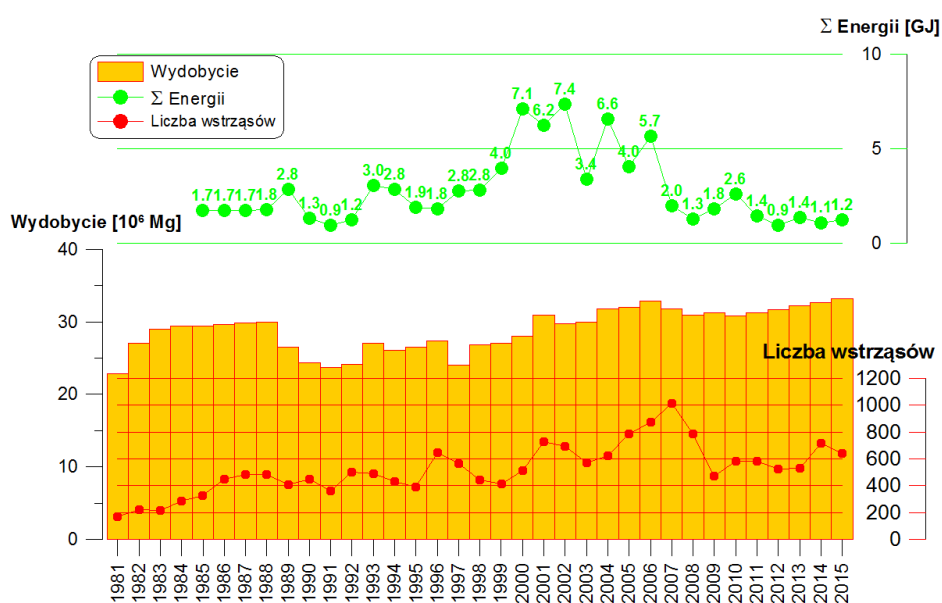
W kopalniach węgla kamiennego co 154 wstrząs wysokoenergetyczny był przyczyną tąpnięcia, zaś w kopalniach rud miedzi tąpnięcia występowały z częstotliwością, co 145 wysokoenergetyczny wstrząs górotworu.

2. Aktywność sejsmiczna górotworu na tle wielkości wydobywania węgla kamiennego i rud miedzi

Z prezentowanych w tabelach 1 i 2 danych liczbowych dotyczących okresu 35 lat działalności górniczej na Górnym Śląsku i w LGOM wynika szereg wniosków. Rysunek 1 i rysunek 2 stanowią ilustrację graficzną aktywności sejsmicznej górotworu na tle wielkości wydobywania węgla kamiennego i rud miedzi w analizowanym horyzoncie czasowym.



Rys.1. Aktywność sejsmiczna górotworu na tle wielkości wydobywania w kopalniach węgla kamiennego [źródło: opracowanie własne]



Rys.2. Aktywność sejsmiczna górotworu na tle wielkości wydobywania w kopalniach rud miedzi [źródło: opracowanie własne]

**Aktywność sejsmiczna górotworu na tle wielkości wydobywania
w kopalniach węgla kamiennego i rud miedzi w okresie 1981-2015**

Tabela 3.

Wydobycie [10 ⁶ Mg]		Ilość wstrząsów		Suma energii [GJ]		Ilość tąpnięć	
węgiel	rud Cu	Górny Śląsk	LGOM	Górny Śląsk	LGOM	Górny Śląsk	LGOM
4423,7 (1548,3)	1011,5	44376	18354	149,3	91,7	289	127

Prezentowane rysunki 1 i 2 pokazują w sposób jednoznaczny, że w kopalniach węgla kamiennego pomimo znacznego spadku wydobywania aktywność sejsmiczna górotworu mierzona ilością wstrząsów tylko nieznacznie uległa obniżeniu, natomiast ich sumaryczna energia sejsmiczna wykazuje tendencje wzrostowe.

W kopalniach rud miedzi, przy wzroście wydobywania do ponad 33 milionów Mg rocznie, aktywność sejsmiczna górotworu tylko nieznacznie reaguje zarówno pod względem ilości wstrząsów, jak i ich wyemitowanej energii sejsmicznej.

Aktywność sejsmiczna górotworu w kopalniach węgla kamiennego i rud miedzi w okresie 1981-2015 w przeliczeniu na 1 milion Mg wydobytej kopaliny

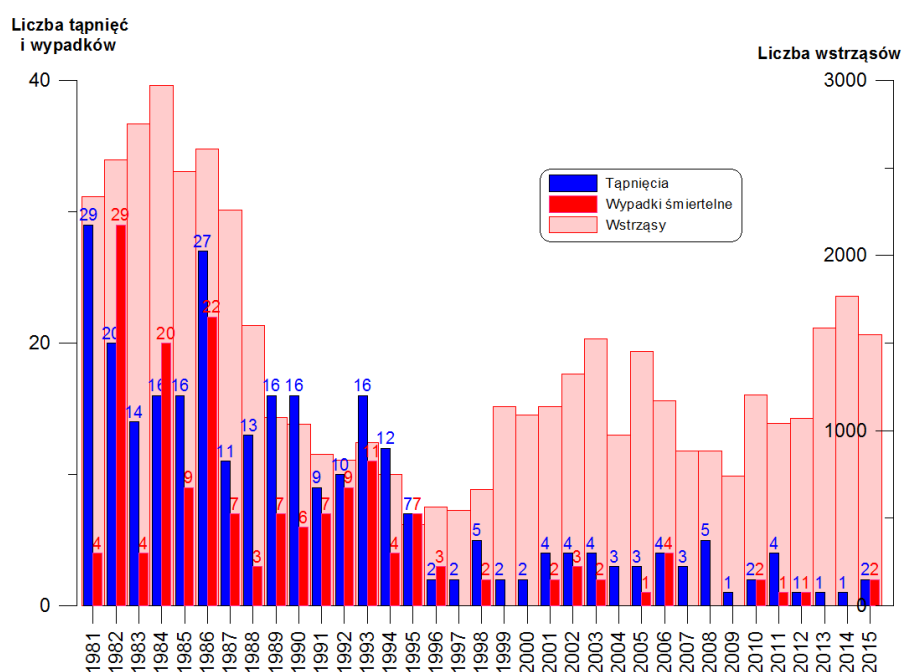
Tabela 4.

Na 1 milion Mg wydobywania			
węgla		Rud Cu	
Ilość wstrząsów	Suma energii [10 ⁶ J]	Ilość wstrząsów	Suma energii [10 ⁶ J]
10	3,375	18	9,065

Porównując aktywność sejsmiczną górotworu towarzyszącą prowadzonym robotom górniczym na Górnym Śląsku i w LGOM w analizowanym okresie 35 lat można jednoznacznie stwierdzić (tabela 4), że w przeliczeniu na 1 milion Mg wyeksploatowanej kopaliny ilość wstrząsów w LGOM jest prawie dwukrotnie większa, zaś ich sumaryczna energia sejsmiczna jest większa prawie trzykrotnie.

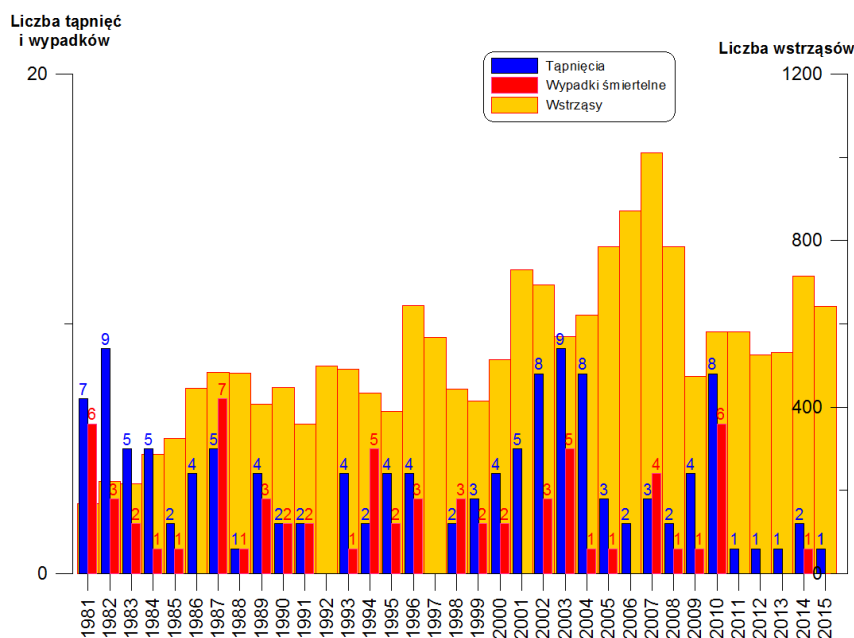
3. Wstrząsy górotworu i ich skutki

Przedstawiając dane dotyczące aktywności sejsmicznej górotworu przy prowadzeniu podziemnej eksploatacji węgla kamiennego i rud miedzi w Polsce należy zauważyć, że wstrząsy górotworu były, oprócz skutków w postaci szkód górniczych na powierzchni terenu, przyczyną wysokiego stanu zagrożenia tąpniętami i odprężeniami.



Rys.3. Wstrząsy górotworu, łąpienia i spowodowane nimi wypadki śmiertelne w kopalniach węgla kamiennego [źródło: opracowanie własne]

Zjawiska te w większości przypadków skutkowały nagłą utratą stateczności wyrobisk oraz wypadkami. W tabelach 1 i 2 zestawiono dane dotyczące ilości łąpienia i spowodowanych nimi wypadkami w analizowanym okresie 35 lat. Ilustracją tych danych jest rysunek 3 (dla kopalń węgla kamiennego) oraz rysunek 4 (dla kopalń rud miedzi).



Rys.4. Wstrząsy górotworu, łąpienia i spowodowane nimi wypadki śmiertelne w kopalniach rud miedzi [źródło: opracowanie własne]

Jak można zauważyć, w analizowanym okresie 35 lat miało miejsce 289 łąpięć w kopalniach węgla kamiennego i 127 łąpięć w kopalniach rud miedzi. Na skutek tych zjawisk w kopalniach węgla kamiennego 1057 osób uległo wypadkom, w tym 172 osoby wypadkom śmiertelnym. W kopalniach rud miedzi miało miejsce wskutek łąpań 389 wypadków, w tym 69 wypadków śmiertelnych.

Ogólny wskaźnik wypadków na 1 milion Mg wydobytego urobku wynosił:

- w kopalniach węgla kamiennego - 0,239,
- w kopalniach rud miedzi - 0,385.

4. Podsumowanie

Przedstawione dane dotyczące aktywności sejsmicznej górotworu przy prowadzeniu podziemnej eksploatacji węgla kamiennego i rud miedzi w Polsce dowodzą, że aktywność ta jest przyczyną zagrożenia łąpaniami i odprężeniami górotworu.

Z uwagi na:

- wzrost głębokości eksploatacji,
- skrępowanie warunków prowadzenia robót górniczych (rozległe zroby, obszary resztkowe),
- liczne zaburzenia tektoniczne, głównie uskoki w sąsiedztwie których prowadzi się roboty górnicze,
- występowania w stropie zasadniczym pokładów węgla kamiennego i złoża rud miedzi sztywnych i bardzo wytrzymałych warstw nadkładowych,

należy się spodziewać, że w najbliższej przyszłości będzie obserwowany wzrost tego zagrożenia. W tym stanie rzeczy szczególnego znaczenia nabierają wszelkie działania profilaktyczne, a szczególnie zaś takie działania, które prowadzą do predykcji wysokoenergetycznych wstrząsów górniczych stanowiących potencjalne zagrożenie łąpaniami.

Analiza istniejących metod predykcji czasowej wstrząsów górniczych wykazuje, że nie ma aktualnie skutecznych metod prognozowania czasu wystąpienia wstrząsu, podobnie jak niemożliwym jest dzisiaj określenie czasu wystąpienia trzęsienia ziemi w obszarach aktywnych sejsmicznie. Na podstawie dotychczasowych doświadczeń uzyskanych w kopalniach rud miedzi KGHM Polska Miedź S.A. można stwierdzić, że grupowe strzelanie przodków eksploatacyjnych skutecznie prowokuje znaczną ilość wysokoenergetycznych wstrząsów górniczych. Wychodząc z założenia, że wstrząs sprowokowany jest w czasie wyczekiwania po robotach strzałowych wstrząsem oczekiwanym, czyli prognozowanym, prowadząc działalność zmierzającą do zwiększenia skuteczności prowokowania wysokoenergetycznych wstrząsów górotworu, pośrednio uzyskuje się prognozę czasu wystąpienia wstrząsu i potencjalnego zagrożenia łąpieniem. To zaś pozwala prowadzić bardziej bezpieczną eksploatację złoża na drodze aktywnego zwalczania łąpań i odprężień, włącznie z wycofaniem załogi, a w warunkach kopalń rud miedzi również wycofywania maszyn i urządzeń z zagrożonego rejonu.

Literatura

1. Adamczewski Z., Larsen L.: Technologia określania dni sejsmicznych. Przegląd Geodezyjny, nr 9, 2002.
2. Kłeczek Z.: Geomechanika Górnicza. Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice, 1994.
3. Kłeczek Z., Mironowicz W., Zorychta A.: Sposób prognozowania wstrząsów górotworu i prowokowania tąpnięć. Patent RP nr 178986 z dnia 8.03.1996.
4. Kłeczek Z.: Prowokowanie wstrząsów górotworu jako metoda profilaktyki tąpniowej w kopalniach LGOM. Czasopismo Naukowo-Techniczne Górnictwa Rud CUPRUM, nr 1 (26), 2003.
5. Kłeczek Z.: Effect of underground working stability loss on mining machines and equipment. 4-th International Scientific and Technical Conference KOMTECH 2003. Szczyrk, 17-19.11 2003.
6. Kłeczek Z.: Zagrożenia tąpnięciami w polskich kopalniach węgla kamiennego i rud miedzi. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie. Miesięcznik WUG nr 6(142), 2006.

Diagnoza ergonomiczna stanowiska pracy szlifierza

Magdalena Rozmus - Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Dariusz Michalak - Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie: W rozdziale przedstawiono diagnozę ergonomiczną stanowiska pracy szlifierza przeprowadzoną w wybranym zakładzie pracy. Obejmowała ona ocenę obciążenia statycznego pracownika oraz ocenę antropometryczną stanowiska pracy. Podczas badania posłużono się obserwacją czynności wykonywanych na danym stanowisku pracy, a także rejestracją wideo symulowanych ruchów roboczych, wykonywanych na makiecie stanowiska roboczego. Analizę przeprowadzono z zastosowaniem metod OWAS i RULA, a także modelowania 3D, za pomocą którego stanowisko pracy odwzorowano w środowisku komputerowym. Zidentyfikowano czynniki negatywnie wpływające na jakość ergonomiczną stanowiska pracy oraz zaproponowano rozwiązania korygujące.

Ergonomic diagnosis of grinder's workplace

Abstract: Ergonomic diagnosis of grinder's workplace in a given work facility is presented in the article. Assessment of static exertion during work as well as anthropometric assessment of the workplace were carried out in the diagnosis. The research was based on observation of activities conducted during work in the actual workplace and on video registration of work activities simulated on a mock-up of the workplace. The analysis was conducted with use of OWAS and RULA methods and with use of 3D modelling that was applied for reflection of the workplace in virtual environment. Factors that negatively influence on ergonomic quality of the workplace were identified and corrective actions were proposed.

1. Wstęp

Kodeks pracy [7] obliuguje pracodawcę, aby stosowane maszyny i inne urządzenia techniczne spełniały wymagania ergonomii (art. 215 K.p.). Wymóg ten jest doprecyzowany w § 45.1. Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26.09.1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy [6]. Zgodnie z powyższym, stanowiska pracy powinny być dostosowane do rodzaju wykonywanych na nich czynności oraz do psychofizycznych cech pracowników. Cechy psychofizyczne pracownika wynikają m.in. z jego miar antropometrycznych oraz zdolności do przenoszenia obciążenia statycznego. Wymiary wolnej (niezajętej przez urządzenia) powierzchni stanowiska pracy powinny zapewniać pracownikom swobodę ruchu umożliwiającą bezpieczne wykonywanie pracy, z uwzględnieniem wymagań ergonomii.

Wyszczególnione powyżej przepisy powodują konieczność przeprowadzania analiz ergonomicznych stanowisk pracy. W niniejszym rozdziale przedstawiono diagnozę ergonomiczną stanowiska szlifierza, przeprowadzoną w jednym z zakładów produkcyjnych [4]. Skoncentrowano się na dwóch elementach wpływających na jakość ergonomiczną stanowiska pracy szlifierza: obciążeniu statycznym oraz dostosowaniu do miar antropometrycznych pracownika [1].

Obciążenie statyczne, zgodnie z normą *PN-80/Z-08052 Niebezpieczne i szkodliwe czynniki występujące w procesie pracy* [5], jest jednym ze szkodliwych psychofizycznych czynników. Czynnikiem szkodliwym to taki, którego oddziaływanie na pracownika prowadzi lub może prowadzić do schorzenia. Z kolei miary antropometryczne człowieka znajdują bezpośrednie przełożenie na takie aspekty, jak: zasięgi kończyn, z uwzględnieniem wygody wykonywania czynności, wysokość powierzchni, na której wykonywane są czynności czy pole widzenia.

Na podstawie przeprowadzonej analizy zidentyfikowano elementy, które negatywnie wpływają na jakość ergonomiczną badanego stanowiska pracy oraz zaproponowano techniczne oraz organizacyjne rozwiązania korygujące.

2. Przebieg badania

Na potrzeby diagnozy ergonomicznej stanowiska pracy szlifierza posłużono się:

- metodami OWAS [3] oraz RULA [2] - w celu określenia poziomu ryzyka wystąpienia dolegliwości układu narządu ruchu,
- modelowaniem 3D – w celu oceny dostosowania wyposażenia stanowiska pracy do miar antropometrycznych pracowników.

Czynnikiem, który istotnie wpłynął na przebieg realizacji badania, był brak możliwości przeprowadzenia rejestracji wideo oraz rejestracji fotograficznej wyposażenia oraz procesu pracy na stanowisku pracy szlifierza.

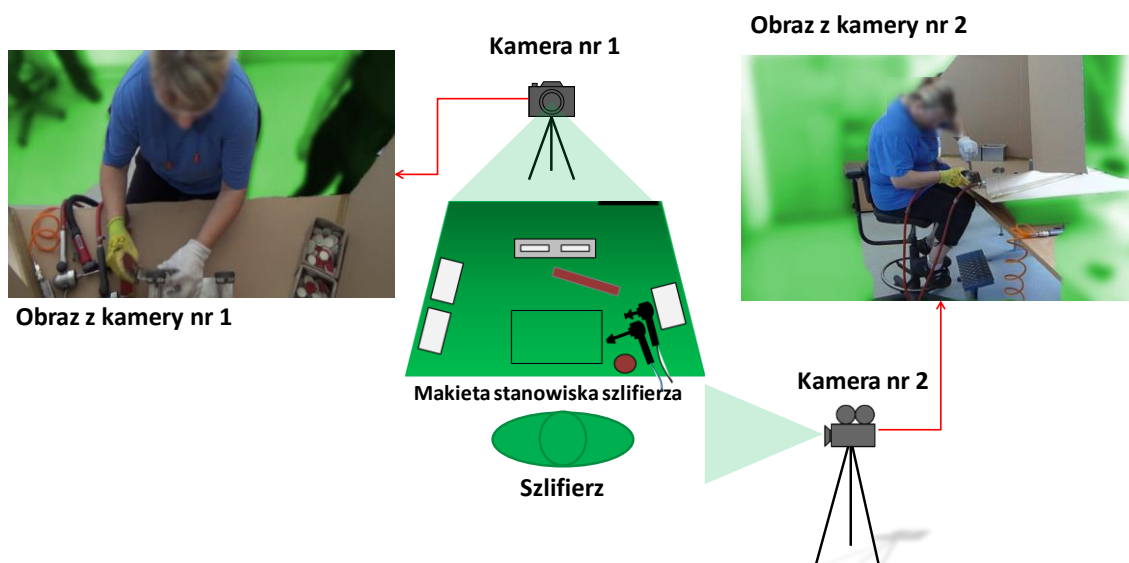
W związku z powyższym, dla pozyskania materiałów opisujących aktualny stan badanego stanowiska szlifierza w aspekcie jego jakości ergonomicznej, zrealizowano następujące działania:

- pomiar wielkości geometrycznych stanowiska pracy szlifierza – zebrano informacje o wymiarach, wymagane do odwzorowania stanowiska pracy w postaci modelu 3D, rys. 1.



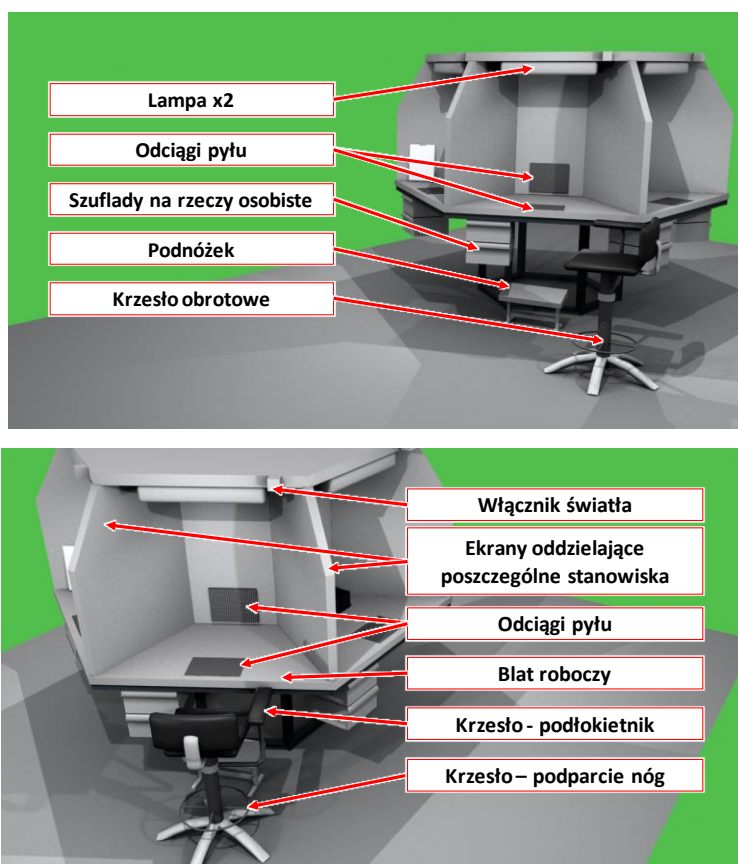
Rys.1. Model 3D stanowiska pracy szlifierza [4]

- rejestrację wideo czynności roboczych symulowanych na makiecie rzeczywistego stanowiska roboczego - rys. 2,



Rys.2. Stanowisko do rejestracji czynności roboczych szlifierza [4]

- obserwację i oględziny rzeczywistych stanowisk pracy. Na rysunku 3 przedstawiono budowę oraz typowe rozmieszczenie elementów na stanowisku pracy, wraz z ich opisem. Zidentyfikowano dwa najczęściej pojawiające się sposoby rozmieszczenia elementów na blacie roboczym.



Rys.3. Stałe elementy wyposażenia stanowiska pracy szlifierza [4]

- wywiady z pracownikami (4 osoby) oddelegowanymi do przeprowadzania symulowanych czynności roboczych, w trakcie których zebrano subiektywne opinie dotyczące stanowiska pracy,
- opracowanie orientacyjnego chronometrażu obróbki przykładowego elementu (praca wykonywana przez doświadczonych pracowników).

Rozmieszczenie elementów na stanowisku zestawionym na potrzeby badania przedstawiono na rysunku 4.



Rys.4. Rozmieszczenie elementów wyposażenia na stanowisku szlifierza [4]

2.1. Ocena ryzyka dla układu mięśniowo-szkieletowego z zastosowaniem metody OWAS

Metoda OWAS służy do oceny ryzyka wystąpienia dolegliwości układu mięśniowo-szkieletowego na podstawie analizy czynności wykonywanych w obciążeniu statycznym. Dla stanowiska szlifierza czynności te zidentyfikowano na podstawie orientacyjnego chronometrażu, a także rejestracji wideo czynności symulowanych na makiecie stanowiska pracy. Analiza metodą OWAS tych czynności objęła następujące kroki:

- dla każdej czynności określono kod pozycji - oparto się na materiale z rejestracji wideo; na rysunku 5 przedstawiono przykład identyfikacji kodu pozycji dla jednej z czynności,

Widok pozycji			
			
			
Położenie segmentów ciała			Obciążenie zewnętrzne
Plecy	Ramiona	Nogi	
1	1	1	

Rys.5. Przykład Identyfikacji kodu pozycji [4]

- dla każdej czynności, na podstawie kodu pozycji, określono kategorię obciążenia; przykład przedstawiono na rysunku 6.

Nogi		1		
Siła zewnętrzna		1	2	3
Plecy	Ramiona			
1	1	1	1	1
	2	1	1	1
	3	1	1	1

Rys.6. Przykład wyznaczenia kategorii obciążenia [4]

- dla każdej czynności, na podstawie kategorii obciążenia, dokonano oceny, czy i jak pilne jest podjęcie działań korygujących,
- wyznaczono sumaryczny czas utrzymywania pozycji w poszczególnych kategoriach obciążenia oraz obliczono procentowy udział tego czasu w czasie zmiany roboczej. Realizację tego kroku przedstawiono w tabeli 1.

**Procentowy udział pozycji w poszczególnych kategoriach obciążenia
podczas zmiany roboczej [4]**

Tabela 1.

Kategoria obciążenia	Kod pozycji	Czynność	Czas trwania	Procentowy udział czasu trwania w zmianie roboczej
1	1111	Szlifowanie szczegółu konstrukcyjnego A	52 sekund	15 %
	1111	Szlifowanie szczegółu konstrukcyjnego B	1 minuta 44 sekundy	30 %
suma				45 %
2	2111	Pomiar dokładności szlifowania	13 sekund	4 %
	4111	Szlifowanie szczegółu konstrukcyjnego C	1 minuta 31 sekund	28 %
suma				29 %

- dokonano oceny stanu obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego.

Stwierdzono, że zarówno w przypadku realizacji czynności w ramach kategorii 1 obciążenia, jak i w kategorii 2 obciążenia, ryzyko wystąpienia dolegliwości układu mięśniowo-szkieletowego jest niskie. Nie zaistniała zatem konieczność podejmowania działań korygujących z uwagi na obciążenie statyczne występujące podczas pracy na stanowisku szlifierza.

2.2. Ocena ryzyka dla układu mięśniowo-szkieletowego z zastosowaniem metody RULA

Czynności zbadane metodą OWAS poddano także analizie metodą RULA. Zgodnie z założeniami metody, dla każdej czynności zrealizowano następujące kroki:

- KROKI 1 - 8: Ocena obciążenia kończyn górnych ze względu na przyjmowaną pozycję, obciążenie mięśni z uwagi na rodzaj pracy, jaką wykonują oraz przenoszone obciążenie zewnętrzne.
- KROKI 9 -15: Ocena obciążenia szyi, tułowia i nóg ze względu na przyjmowaną pozycję, dynamikę pracy mięśni i przenoszone obciążenie zewnętrzne.
- KROK 16: Ocena całkowitego obciążenia ciała pracownika pozycją, używaną siłą i dynamiką ruchów.
- KROK 17: Interpretacja wyniku - wskazanie, jakie jest ryzyko wystąpienia dolegliwości w układzie mięśniowo-szkieletowym z uwagi sposób wykonywania czynności. Daje to podstawę do stwierdzenia, czy i jak pilne jest podjęcie działań korygujących.

Istotnym elementem metody RULA jest identyfikacja wzajemnego położenia segmentów ciała: ramion, przedramion, dłoni, głowy, tułowia i nóg, z uwzględnieniem wartości kątowych (zdefiniowane są przedziały wartości). Dysponowanie odpowiednim materiałem wideo było zatem szczególnie istotne, a jego analiza - niezbędna. Wyniki analizy prezentuje tabela 2.

Ryzyko dolegliwości mięśniowo-szkieletowych analizowanych czynności [4]

Tabela 2.

Czynność	Ryzyko dolegliwości układu mięśniowo-szkieletowego
Pomiar dokładności szlifowania	Średnie
Szlifowanie szczegółu konstrukcyjnego A	Średnie
Szlifowanie szczegółu konstrukcyjnego B	Średnie
Szlifowanie szczegółu konstrukcyjnego C	Wysokie

Przy badanym sposobie wykonywania pracy na stanowisku szlifierza, na obciążenie układu mięśniowo-szkieletowego składa się przede wszystkim obciążenie przyjętą pozycją. W przypadku ramion, uciążliwymi i/lub potencjalnie szkodliwymi są pozycje, w których są one podniesione i odchylone od tułowia. W przypadku tułowia takimi pozycjami są te, które wymagają pochyleń i skręceń tułowia. W przypadku szyi, uciążliwość i/lub potencjalna szkodliwość powodowana jest znacznym pochylem głowy, przy jednoczesnym pochylem na bok lub skręceniu (obróć osiowy). Obciążenie nóg w małym stopniu przyczynia się do uciążliwości przyjmowaną pozycją. Jednak należy mieć na uwadze komentarze pracowników wyrażone w wywiadach – zbyt niski podnóżek powoduje uciskanie nóg przez siedzisko, co z kolei powoduje drętwienie nóg. Obciążenia zewnętrzne przenoszone przez wszystkie analizowane segmenty są niewielkie. Również obciążenie statyczne – z uwagi na krótki czas wykonywania czynności – w znikomym lub małym stopniu wpływa na uciążliwość i szkodliwość wykonywanych czynności.

Czynnością wymagającą szczególnej uwagi i modyfikacji jest szlifowanie szczegółu konstrukcyjnego C. Powodowane przez nią wysokie ryzyko dolegliwości układu mięśniowo-szkieletowego wynika przede wszystkim z pozycji głowy – jej znacznego pochyleń i skręceń przy jednoczesnym pochylem i skręceniu tułowia. Dodatkowym czynnikiem jest czas przyjmowania tej pozycji. Obciążenie prawej kończyny górnej również – choć w znacząco mniejszym stopniu niż wspomniane wyżej segmenty ciała – wpływa na szkodliwość

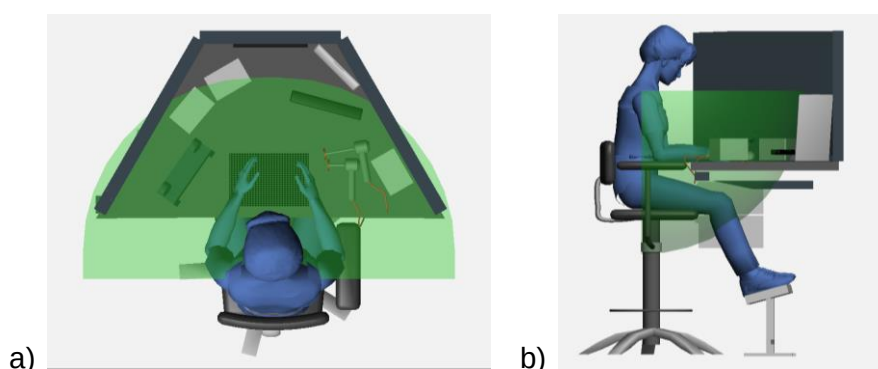
wykonywania czynności. Występuje tu konieczność podniesienia i odchylenia ramienia od tułowia, przy jednoczesnym dłuższym niż minuta napięciu mięśni.

2.3. Ocena rozmieszczenia wyposażenia stanowiska pracy z zastosowaniem modelowania 3D

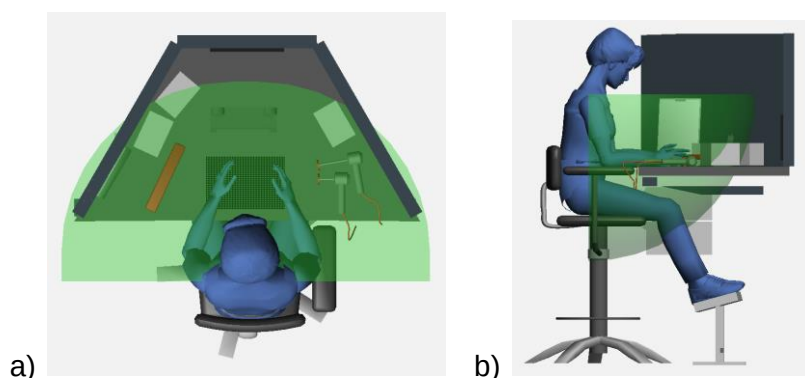
Ocenę rozmieszczenia wyposażenia stanowiska pracy dokonano na podstawie analizy z zastosowaniem modeli 3D, zarówno środków technicznych, jak i sylwetek ludzkich reprezentujących miary antropometryczne osób realizujących pracę na stanowisku pracy szlifierza.

Poniżej przedstawiono ocenę rozmieszczenia elementów wyposażenia stanowiska pracy, przy założeniu, że pracownik przyjmuje prawidłową pozycję przy pracy oraz w odpowiedni sposób dostosowuje stanowisko pracy do swoich wymiarów (regulacja wysokości fotela, podniesienie na odpowiednią wysokość podnóżka). Analizy przeprowadzono dla dwóch najczęściej obserwowanych sposobów rozmieszczenia elementów wyposażenia.

Na rysunku 7 oraz rysunku 8 przedstawiono, oznaczoną kolorem zielonym, strefę optymalnej przestrzeni pracy, w widokach z góry oraz z boku. Przestrzeń pracy to obszar, w którym realizowane są czynności manualne. Można zaobserwować, że wszystkie elementy wyposażenia znajdują się w strefie określonej jako optymalna.

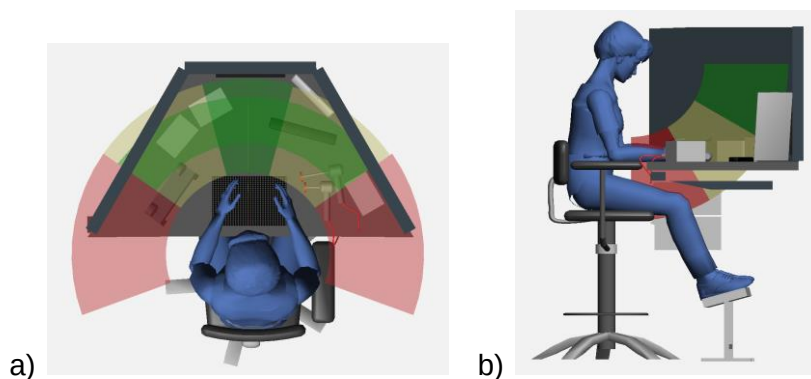


Rys.7. Optymalna przestrzeń pracy rąk – oznaczona kolorem zielonym – widok z góry (a), widok z boku (b); wariant 1 rozmieszczenia wyposażenia [4]

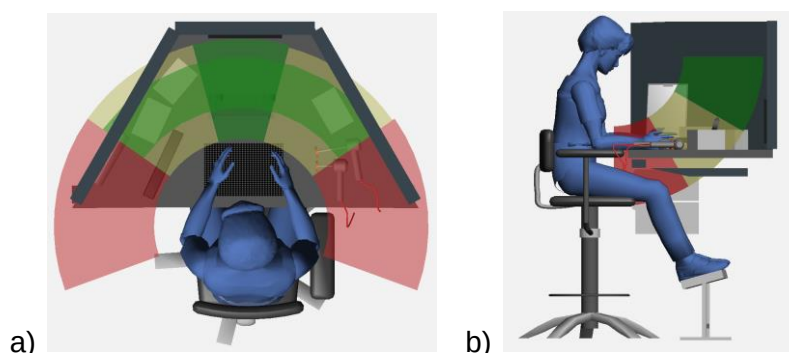


Rys.8. Optymalna przestrzeń pracy rąk – oznaczona kolorem zielonym – widok z góry (a), widok z boku (b); wariant 2 rozmieszczenia wyposażenia [4]

Na rysunku 9 oraz rysunku 10 przedstawiono, oznaczone kolorami, strefy określające optymalne przestrzenie widzenia. Przestrzeń widzenia - w przypadku analizowanego stanowiska - należy interpretować jako obszar, w którym powinny znaleźć się elementy, których obserwowanie warunkuje prawidłowe wykonywanie czynności roboczych. W przypadku stanowiska szlifierza jest to karta produktu, opisująca wymagane wymiary detalu oraz mikrometry zegarowe do wykonywania pomiarów kontrolnych. Wszystkie wymienione elementy znajdują się w strefach dopuszczalnych (kolor zielony, żółty).



Rys. 9. Przestrzeń widzenia: kąty i dystanse w płaszczyźnie poziomej (a), w płaszczyźnie strzałkowej (b) – kolor zielony (do częstych obserwacji), żółty (do obserwacji przy pochyleniu głowy), czerwony (do rzadkich obserwacji); wariant 1 rozmieszczenia wyposażenia [4]

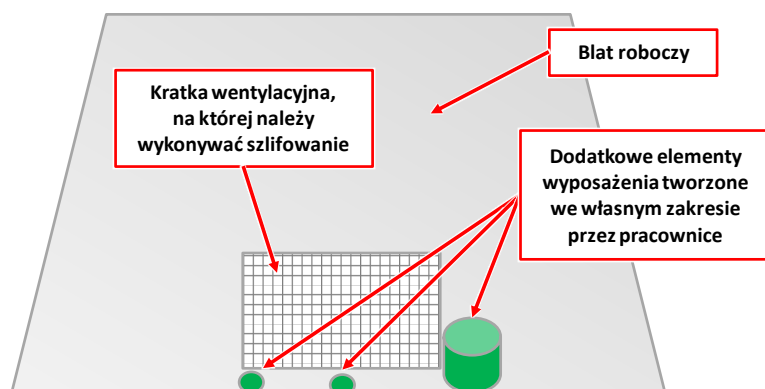


Rys. 10. Przestrzeń widzenia: kąty i dystanse w płaszczyźnie poziomej (a), w płaszczyźnie strzałkowej (b) – kolor zielony (do częstych obserwacji), żółty (do obserwacji przy pochyleniu głowy), czerwony (do rzadkich obserwacji); wariant 2 rozmieszczenia wyposażenia [4]

Jak wynika z obserwacji rzeczywistego stanowiska pracy i wykonywanych na nim czynności, oraz analiz przeprowadzonych na podstawie modelu 3D, sposoby rozmieszczenia elementów wyposażenia przyjmowane na badanym stanowisku pracy są poprawne.

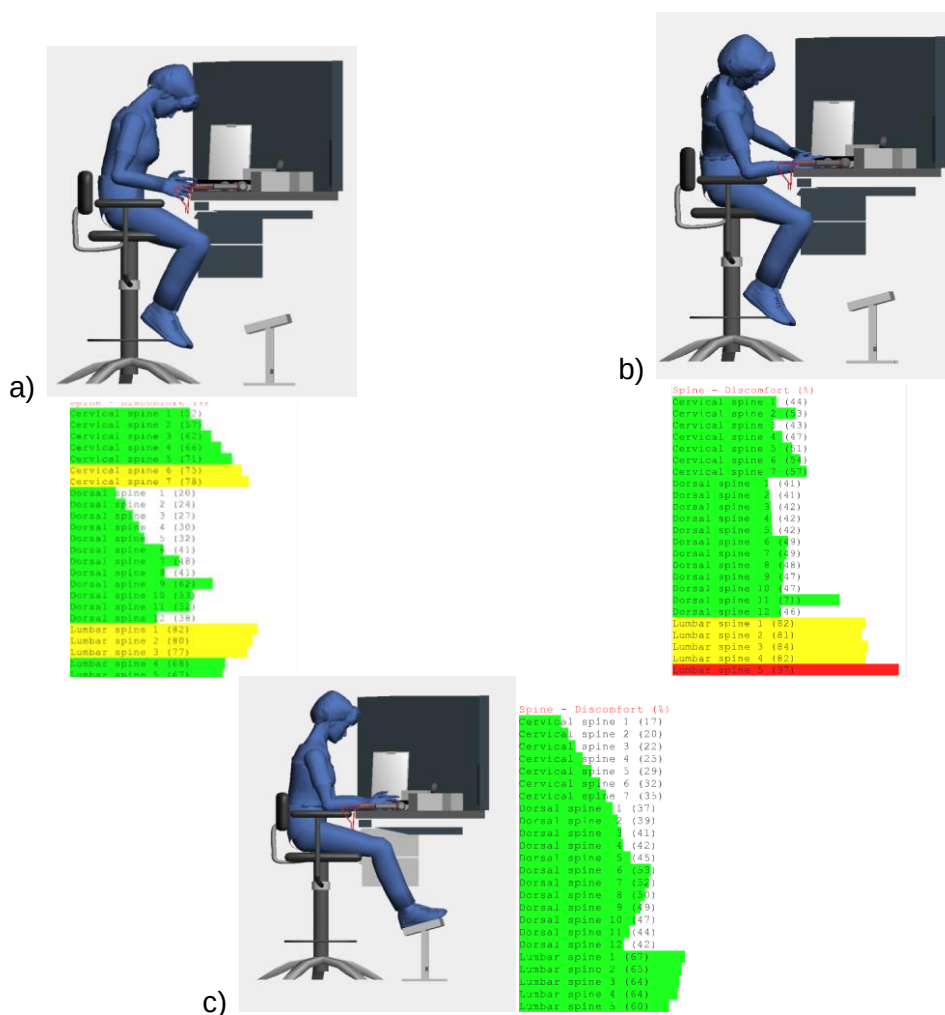
2.4. Ocena pozycji przyjmowanej przy pracy na stanowisku pracy szlifierza z zastosowaniem modelowania 3D

Jak wynika z obserwacji pozycji przyjmowanych przez pracownice podczas operacji szlifowania (zarówno podczas symulacji na makiecie, jak i na rzeczywistych stanowiskach pracy), nie wykorzystują one stanowiska pracy w sposób zgodny z jego przeznaczeniem. Prace szlifierskie najczęściej wykonywane są w obszarze wyznaczonym przez elementy dodatkowe tworzone we własnym zakresie przez pracownice - w postaci naklejanych na blat podkładek wykonywanych z materiału ściernego (rys. 11).



Rys.11. Dodatkowe wyposażenie tworzone i stosowane przez pracownice [4]

Powoduje to wymuszanie nieprawidłowych pozycji. Na rysunku 12 przedstawiono zestawienie zaobserwowanych pozycji podczas szlifowania a także pozycji prawidłowej (zalecanej).

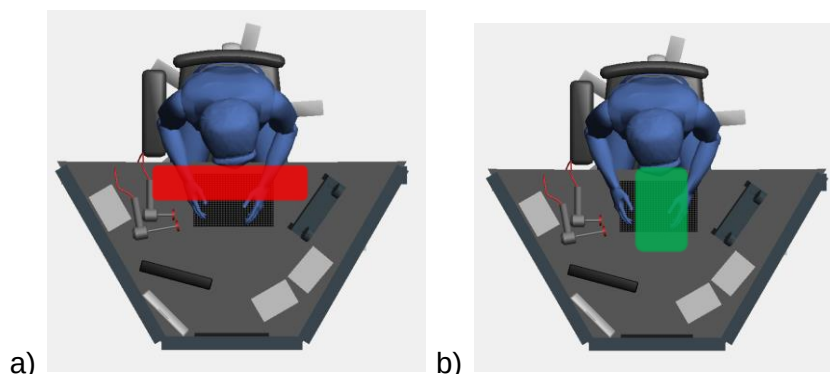


Rys.12. Zestawienie zaobserwowanych pozycji: szlifowanie szczegółu konstrukcyjnego A (a), szlifowanie szczegółu konstrukcyjnego B (b), pozycja prawidłowa (c) – wraz z poziomem dyskomfortu dla poszczególnych segmentów kręgosłupa [4]

Przyjmowane pozycje powodują miejscowe kumulacje obciążeń, które z uwagi na tryb wykonywania pracy nie mają charakteru stałego, jednak w dłuższych okresach czasu mogą powodować odczuwalny dyskomfort oraz bóle kręgosłupa.

3. Omówienie wyników badań

W obecnym kształcie stanowiska robocze wymagają jedynie drobnych modyfikacji, które pozwolą na dostosowanie ich do wymagań ergonomicznych. Na rysunku 13 przedstawiono zestawienie zaobserwowanej przestrzeni, w której wykonywane są główne czynności robocze, oraz poprawnej przestrzeni pracy, w jakiej powinny one być wykonywane.



Rys.13. Zestawienie zaobserwowanej przestrzeni wykonywania głównych prac szlifierskich (a) oraz przestrzeni, w jakiej powinno się dokonywać prac szlifierskich (b) [4]

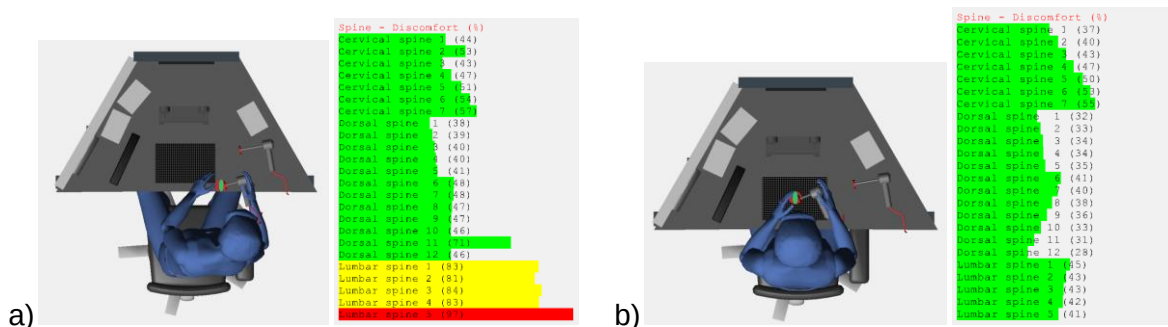
Zidentyfikowano następujące przyczyny zajmowania niewłaściwych pozycji podczas pracy szlifierza:

- kratka odpylająca, umieszczona w blacie roboczym - w obecnym kształcie i usytuowaniu powoduje, że prace wykonywane są głównie poza nią, ponieważ ma nieregularną, perforowaną powierzchnię i jest podatna na odkształcanie się pod wpływem nacisku. Wykonywanie prac poza jej obrysem powoduje nie tylko przyjmowanie niewłaściwych pozycji, ale także znacząco obniża skuteczność wykorzystania systemu odpylania,
- usprawnienia w postaci dodatkowego słupka z boku przestrzeni roboczej - jak wykazała ocena przyjmowanych pozycji - powodują wysokie ryzyko dolegliwości mięśniowo-szkieletowych podczas czynności szlifowania szczegółu konstrukcyjnego C,
- zbyt mocno odsunięty fotel – jest wynikiem wykonywania prac na krawędzi stołu roboczego. Jak wykazała ocena ergonomiczna, powoduje to średnie ryzyko dolegliwości mięśniowo-szkieletowych podczas czynności pomiaru dokładności szlifowania. Fotel ustawiany jest na początku zmiany roboczej. Ponieważ waga fotela jest znaczna a jego podstawa wyposażona jest w stopki, nie ma możliwości każdorazowego przysuwania go podczas pomiaru,
- zbyt niski podnóżek – pracownice nie mają możliwości dostosowania jego wysokości do własnych potrzeb (wynikających z cech antropometrycznych).

4. Proponowane rozwiązania korygujące

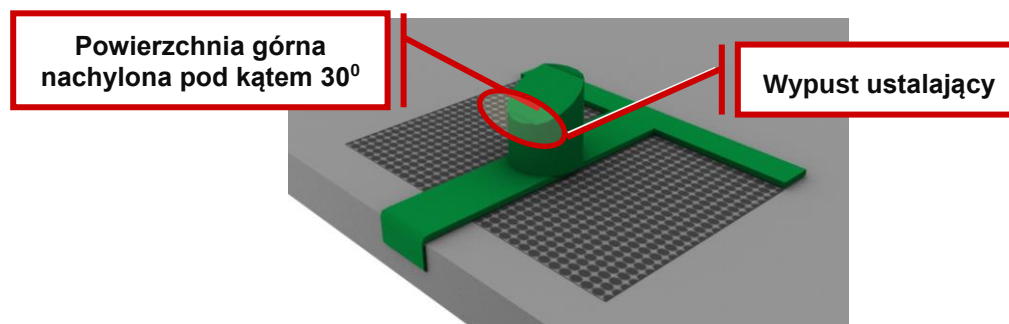
4.1. Techniczne rozwiązanie korygujące

Najistotniejszą zmianą, jaką należałoby wprowadzić w omawianym stanowisku, jest umożliwienie wykonywania prac szlifierskich bezpośrednio w obrysie kratki odpylającej. Na rysunku 14 przedstawiono zestawienie wartości współczynnika dyskomfortu statycznego dla kręgosłupa - dla aktualnie zajmowanej pozycji (rys. 14a) oraz dla proponowanego przesunięcia szlifowanego detalu w obrys kratki wentylacyjnej (rys. 14b).



Rys.14. Współczynnik dyskomfortu statycznego kręgosłupa - pozycja przyjmowana aktualnie (a), propozycja zmiany (b) [4]

Dla umożliwienia wykonywania czynności roboczych w obrębie kratki odpylającej, konieczne jest zastosowanie dodatkowego elementu, na którym stawiany będzie, lub o który opierany będzie obrabiany detal. Widok przykładowego ukształtowania podkładki pod obrabiany detal przedstawiono na rysunku 15.



Rys.15. Widok podkładki pod obrabiany detal [4]

Zaleca się wykonanie podkładki, której powierzchnia górna jest ścięta i pochylona do podłoża pod kątem 30°. Umożliwi to umieszczenie obrabianego detalu na podkładce i jego obserwację w osi pionowej, co jest szczególnie istotne podczas czynności obróbki detalu, które wymagają wysokiej precyzji. Wypust ustalający zlokalizowany w dolnej części powierzchni skośnej pozwoli na stabilne oparcie obrabianego detalu i jego podtrzymanie na właściwej powierzchni.

W konstrukcji podkładki przewidziano także, że będzie się ona samoczynnie blokować o krawędź blatu roboczego. W przypadku, gdyby rozwiązanie to okazało się niewystarczające, należałoby podkładkę przytwierdzić na stałe do stołu roboczego.

4.2. Organizacyjne rozwiązania korygujące

Na podstawie obserwacji prac wykonywanych na rzeczywistych stanowiskach oraz informacji uzyskanych drogą wywiadu, zidentyfikowano również problemy o charakterze organizacyjnym. Dla ich wyeliminowania proponowane jest podjęcie następujących działań:

- stanowiska pomiarowe powinny być umiejscowione na wprost pracownika,
- tablica informacyjna z wymaganymi wymiarami także powinna znajdować się na wprost pracownika, na wysokości wzroku. Z uwagi na małą częstość obserwacji, dopuszczalne jest jej umieszczenie na ścianie bocznej stanowiska, na wysokości wzroku,
- na stanowisku powinny znajdować się jedynie te narzędzia, które są aktualnie wykorzystywane – druga szlifierka powinna być odwieszona i znajdować się poza zasięgiem rąk. Dodatkowe elementy na blacie zaburzają swobodny przepływ powietrza i mogą wpływać na efektywność odpylania,
- zaleca się zastosowanie fotela roboczego z regulowanymi podłokietnikami, umieszczonymi po obu stronach, tak aby równomiernie odciażać kręgosłup,
- elementem wpływającym na aktualnie przyjmowane postawy jest także kształt narzędzi.

Stosowane obecnie szlifierki charakteryzuje stosunkowo szeroka (w porównaniu do nowoczesnych rozwiązań) głowica, której wielkość i kształt warunkuje przyjmowanie określonych pozycji. Należy rozważyć wymianę aktualnie stosowanych narzędzi na szlifierki z węższą rękojeścią, zapewniające wygodniejszy chwyt. Praca szlifierza wymaga wysokiej precyzji wykonywanych ruchów, w mniejszym stopniu użycia siły. Z obserwacji wynika, że szlifowanie odbywa się w zakresie mikrometrów. Zatem jest to praca precyzyjna, wymagająca dużego doświadczenia. Z punktu widzenia ergonomii, dla takich prac średnica uchwytu powinna mieścić się w zakresie 30 - 45 mm.

Pracownik powinien bezwzględnie dopasować wysokość fotela, podłokietnika oraz podnóżka do własnych potrzeb. Regulacji należy dokonywać każdorazowo przed przystąpieniem do pracy. W przypadku zastosowania proponowanej podkładki pod obrabiany detal, konieczne będzie zastosowanie fotela z podłokietnikami, tak aby prace nie były wykonywane z rękoma bez podparcia. W przeciwnym razie mogą powstać dodatkowe niekorzystne obciążenia.

Stanowisko szlifierza jest wymagającym miejscem pracy. Przy założeniu, że pracodawca spełnia wszystkie wymogi w zakresie dopasowania środowiska pracy do wymagań antropometrycznych, jedyne ryzyko, jakie może zaistnieć to zaniedbywanie przez pracownice dostosowania (regulacji itd.) sprzętów do swoich wymagań (cech antropometrycznych). Jest to jedno z podstawowych zagrożeń, jakie występuje na tym stanowisku. Nieodczuwalne w krótkich okresach czasu mikrourazy mogą się kumulować i skutkować stałym wpływem na przyjmowane pozycje.

Na właściwe dostosowanie miejsca pracy do własnych potrzeb należy również zwracać szczególną uwagę podczas szkoleń. Proponuje się przeprowadzanie części praktycznej szkolenia na stanowisku pracy szlifierza, gdzie pracownice będą mogły wymieniać się swoimi uwagami i dowiedzą się, jak prawidłowo dostosować stanowisko pracy do własnych potrzeb.

5. Podsumowanie

Spełnienie wymagań nałożonych na pracodawców w zakresie kształtowania warunków pracy powoduje konieczność przeprowadzania diagnozy ergonomicznej. Jej celem jest ocena jakości ergonomicznej stanowisk pracy i – w przypadku stwierdzenia nieprawidłowości -

podjęcie działań korygujących. W niniejszym rozdziale przedstawiono przebieg i wyniki oceny ergonomicznej stanowiska szlifierza oraz zaproponowano rozwiązania korygujące. Skoncentrowano się na dostosowaniu stanowiska do cech antropometrycznych pracowników, a także na obciążeniu statycznym występującym podczas wykonywania czynności roboczych.

Na podstawie badań zidentyfikowano nieprawidłowe pozycje przyjmowane podczas pracy na stanowisku szlifierza. Ich skutkiem jest szkodliwe obciążenie kręgosłupa. Zaproponowano rozwiązania korygujące: techniczne i organizacyjne. Zaprojektowano podkładkę pod obrabiane detale, umożliwiającą przyjmowanie prawidłowej pozycji ciała podczas wykonywania czynności. Wdrożenie rozwiązania poprzedzono analizą z zastosowaniem modeli 3D, której wyniki potwierdziły skuteczność tego rozwiązania w aspekcie obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego pracowników. Wskazano również rozwiązania organizacyjne w zakresie sposobu rozmieszczenia elementów wyposażenia na stanowisku pracy, dostosowywania miejsca pracy do własnych cech antropometrycznych oraz przyjmowania prawidłowej pozycji ciała przez pracownice.

Literatura

1. Górski E.: Ergonomia. Projektowanie, diagnoza, eksperymenty, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002
2. Horst W.: Ryzyko zawodowe na stanowisku pracy. Ergonomiczne czynniki ryzyka, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2004,
3. Koradecka D.: (red.), Bezpieczeństwo Pracy i Ergonomia, Wydawnictwo CIOP, Warszawa 1997.
4. Ocena ergonomiczna warunków pracy na stanowisku szlifierza, Ekspertyza Nr 207/AE/2015, KOMAG, Gliwice 2015
5. PN-80/Z-08052 Niebezpieczne i szkodliwe czynniki występujące w procesie pracy
6. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (tekst jednolity), Dz.U.2003.169.1650
7. Ustawa z dnia 26.06.1974 r. Kodeks pracy (tekst jednolity), Dz. U. z 2014 r. poz. 1502.

Badania uciążliwości zapachowych

Marek Kalita - Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Dominik Bałaga - Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Michał Siegmund - Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie: W rozdziale przedstawiono pierwsze doświadczenia badawcze w zakresie neutralizacji uciążliwości zapachowych. Oceny stopnia neutralizacji uciążliwości zapachowych dokonano w oparciu o badania stanowiskowe, z użyciem instalacji dozującej odoranty i środki neutralizujące. Do neutralizacji zastosowano preparaty antyodorowe dostępne na rynku. Przedstawiono budowę stanowiska oraz przebieg i wyniki badań.

Testing the odour nuisance

Abstract: The first experience in investigation of neutralization of odour nuisance is presented. Assessment of effectiveness of neutralization of odour nuisance was made on the basis of data from stand tests, where odorants and neutralizing agents were dosed. The substances available on the market were used for odours neutralization. Design of the test stand as well as testing methodology and results are given.

1. Wprowadzenie

Rozwiązanie problemu likwidacji uciążliwości zapachowych „u źródła” jest w wielu przypadkach bardzo trudne. Wszystkie działania związane z redukcją odorantów skupiają się na opracowywaniu rozwiązań techniczno-technologicznych, które pozwoliłyby na usunięcie lub ograniczenie emisji odorów. W tym celu prowadzone są działania mające na celu identyfikację, inwentaryzację oraz możliwie skuteczną likwidację już powstałych uciążliwości zapachowych [2].

Jedną z metod walki z uciążliwościami zapachowymi jest zamgławianie. Metoda ta polega na rozpyleniu odpowiednich środków neutralizujących w smudze gazów złowonnych. Ze względu na tajemnicę handlową, producenci środków neutralizujących nie ujawniają ich receptur, przez co nieznana jest ich skuteczność i mechanizm działania. Metoda zamgławiania znajduje zastosowanie w neutralizacji powierzchniowych źródeł emisji substancji złowonnych oraz wszędzie tam, gdzie nie jest możliwym ujęcie gazów w emisję zorganizowaną [2].

Z analizy przedstawionej w pracy [2] wynika, że największe emisje gazów złowonnych występują w branży rolno-spożywczej. Inną grupę emitentów stanowi przemysł chemiczny oraz wydobywczy emitujący uciążliwe dla środowiska gazy o charakterze odorotwórczym. Główne powody, dla których eliminuje się uciążliwości zapachowe, to przede wszystkim [2]:

- dyskomfort życia,
- nasilone objawy psychosomatyczne,
- obniżenie atrakcyjności turystycznej i handlowej terenów, które narażone są na ich oddziaływanie.

Zagrożenia te mogą skutkować zarówno dyskomfortem życia społeczeństwa narażonego na oddziaływanie odorantów, jak również powodować choroby. Jedną z przesłanek, która przyczyniła się do podjęcia prac w ITG KOMAG ukierunkowanych na opracowanie systemu dezodoryzacji powietrza, są uciążliwości zapachowe emitowane przez kopalnię Zagłębia Miedziowego.

W ramach prac projektowych opracowano rozwiązania techniczne przeznaczone do eliminacji uciążliwości zapachowych. W celu weryfikacji założeń projektowych opracowano i zbudowano stanowisko badawcze, które w laboratoryjnych warunkach umożliwiało symulację rozprzestrzeniania się odorantów oraz ich neutralizację za pomocą zabudowanej instalacji zamglawiającej. Do wytwarzania atmosfery złowonnej w komorze badawczej stosowano siarkowodor. Opracowana metodyka badawcza pozwoliła na weryfikację wytypowanych, dostępnych na rynku, stosowanych lub możliwych do zastosowania środków przeznaczonych do walki z uciążliwościami zapachowymi. Zdobyta wiedza będzie pomocna do opracowywania rozwiązań technicznych systemów neutralizacji odorantów emitowanych przez składowiska odpadów, kompostownie, zakłady unieszkodliwiania osadów ściekowych oraz przemysł rolny.

2. Metodyka badawcza

Celem badań stanowiskowych było:

- określenie stopnia neutralizacji siarkowodoru zawartego w powietrzu, w zależności od zastosowanego środka neutralizującego,
- określenie stopnia neutralizacji siarkowodoru zawartego w powietrzu, w zależności od czasu działania środka neutralizującego.

Do badań wytypowano kilka preparatów antyodorowych i dla każdego z nich prowadzono badania obejmujące:

- pomiary chromatograficzne siarkowodoru zawartego w powietrzu,
- ocenę sensoryczną siarkowodoru w powietrzu,
- pomiar czasu ekspozycji atmosfery zanieczyszczonej siarkowodorem na zastosowany preparat antyodorowy.

Do oceny stopnia redukcji siarkowodoru z atmosfery znajdującej się w komorze badawczej zastosowano dwie metody, które polegały na:

- wyznaczeniu ilorazu różnicy między stężeniem siarkowodoru w badanym powietrzu, przed zastosowaniem środka antyodorowego oraz po jego wprowadzeniu do komory badawczej, a stężeniem siarkowodoru w powietrzu przed stosowaniem środka antyodorowego,
- analizie sensorycznej atmosfery, którą poddano działaniu środka antyodorowego. Analizę dokonywał zespół składający się z sześciu osób, których zadaniem było nadanie wartości odczuwanym uciążliwościom zapachowym, w zakresie 0÷10.

Na podstawie danych zarejestrowanych w chodniku jednej z kopalń miedzi ustalono, że stężenie początkowe siarkowodoru w komorze badawczej będzie każdorazowo wynosiło 7 ppm.

W celu możliwości porównania otrzymanych wyników badań założono również, że stężenie podawanego do wnętrza komory badawczej preparatu antyodorowego będzie każdorazowo wynosiło 10%. Do badań wytypowano i użyto trzy płynne preparaty antyodorowe:

1. Naner,
2. McKenic,
3. OWS.

Na stanowisku badawczym sprawdzono również skuteczność redukcji uciążliwości zapachowych, rozpylając wodę przemysłową oraz nadtlenek wodoru o stężeniu 35%.

3. Stanowisko badawcze

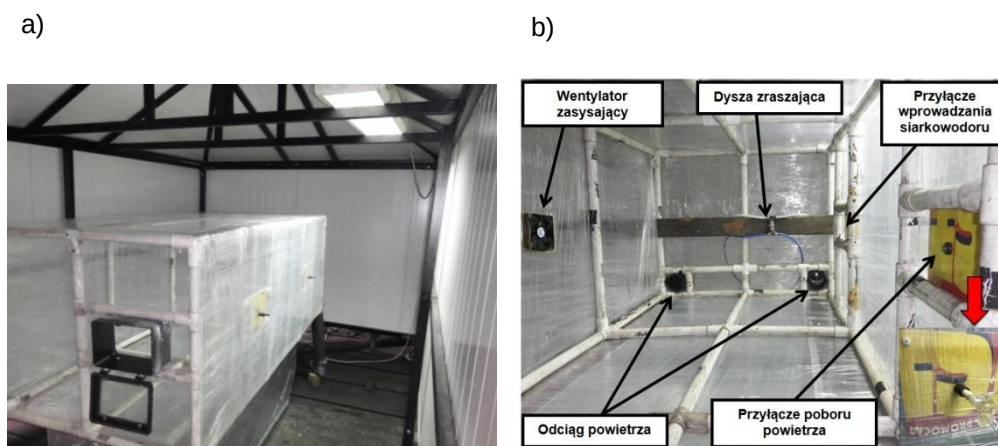
Dla przeprowadzenia badań określających stopień redukcji siarkowodoru opracowano i zbudowano w ITG KOMAG stanowisko badawcze. Stanowisko to odizolowano od pozostałych przestrzeni za pomocą konstrukcji z zabudowanym lutniociągiem, który odciągał zanieczyszczone powietrze z komory badawczej w czasie badań (rys. 1).



Rys. 1. Konstrukcja izolująca stanowisko badawcze, wraz z lutniociągiem odciągającym zanieczyszczone siarkowodorem powietrze [1]

Stanowisko do badania stopnia redukcji odorantów (rys. 2) składało się z:

- komory badawczej,
- odciagu powietrza,
- doświadczalnej instalacji dozującej środka antyodorowego,
- przyłącza do wprowadzania siarkowodoru,
- przyłącza do poboru próbek powietrza do badań,
- przyłącza do poboru próbek powietrza (wentylator zasysający).



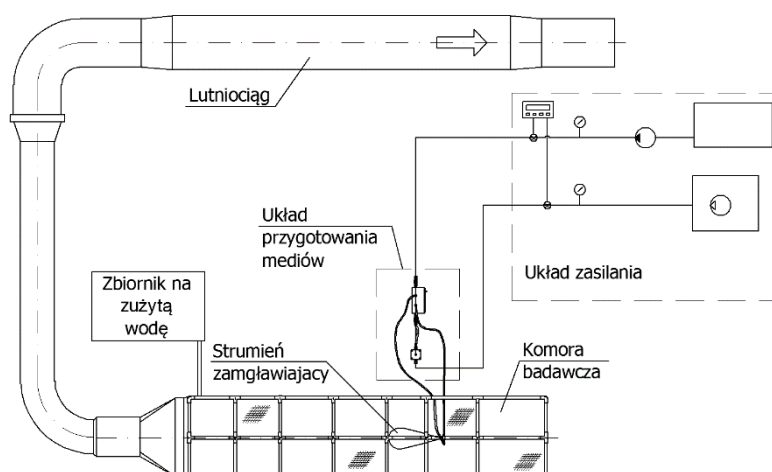
Rys. 2. Stanowisko badawcze; a) komora badawcza, b) elementy komory badawczej [1]

Komora badawcza o objętości 2 m^3 , zbudowana została z profili rurowych wykonanych z PCV, na którą nałożono folię, tworząc szczelną komorę. Komora umożliwiała wprowadzenie do jej wnętrza siarkowodoru i wytworzenie atmosfery zanieczyszczonej, a następnie dozowanie środka neutralizującego i pobór próbek powietrza. Poboru powietrza do worków pomiarowych dokonywano poprzez króciec wyposażony w wentylator zasysający powietrze z wnętrza komory.

Na dłuższej ze ścian komory badawczej umieszczono przyłącze do wprowadzania siarkowodoru oraz przyłącze do poboru próbek powietrza z wnętrza komory. Na krótszej ścianie umiejscowiono rury odciągające zanieczyszczone powietrze z wnętrza komory, współpracujące z lutniociągim utrzymującym czyste powietrze wewnątrz stanowiska izolującego.

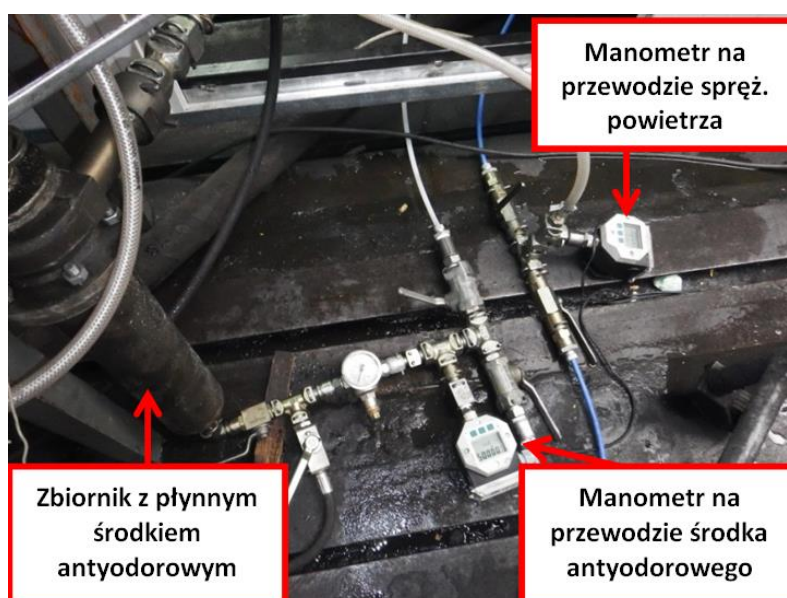
Stanowisko badawcze wyposażono w doświadczalną instalację neutralizującą, działającą na zasadzie rozpylania środka antyodorowego, za pomocą sprężonego powietrza. Podstawowe parametry techniczne instalacji (rys. 3) to:

- | | |
|--|-------------------------------------|
| - ciśnienie podawania środka antyodorowego | $p_{\min} = 0,20 \text{ MPa}$, |
| - natężenie przepływu środka antyodorowego | $Q = 6 \text{ dm}^3/\text{h}$, |
| - ciśnienie sprężonego powietrza | $p_{\min} = 0,20 \text{ MPa}$, |
| - natężenie przepływu powietrza | $Q = 100 \text{ dm}^3/\text{min}$, |



Rys. 3. Instalacja neutralizująca uciążliwości zapachowe opracowana na potrzeby przeprowadzenia badań [1]

Instalację wyposażono w dyszę zraszającą skierowaną do wnętrza komory badawczej oraz układ przygotowania mediów (rys. 4). Dyszę zasilano sprężonym powietrzem, z dozowaniem płynnego środka antyodorowego. Sprężone powietrze dostarczano z agregatu sprężarkowego, zlokalizowanego obok stanowiska, a wartość ciśnienia powietrza ustalano za pomocą zaworu redukcyjnego. Środek antyodorowy dostarczany do dyszy znajdował się w zbiorniku, do którego w górnej części wtłaczano sprężone powietrze. Na skutek wzrostu ciśnienia w zbiorniku, środek antyodorowy był wtłaczany do instalacji neutralizującej. W przewodach sprężonego powietrza oraz płynnego środka antyodorowego wykonywano pomiary ciśnienia przy użyciu manometrów.



Rys. 4. Układ przygotowania mediów instalacji neutralizującej [1]

4. Przebieg badań

Przed wtłoczeniem odmierzonej ilości siarkowodoru do komory badawczej dokonywano jej przewietrzenia poprzez podłączenie odciągów powietrza do wentylatora głównego hutniociągu. Czas przewietrzenia wynosił około 5 min. Po przewietrzeniu, do szczelnie zamkniętej komory badawczej wprowadzano 14 ml siarkowodoru, odpowiadające 21 mg siarkowodoru, uzyskując stężenie około 7 ppm (rys. 5).



Rys. 5. Wprowadzanie siarkowodoru do komory badawczej [1]

Po wprowadzeniu siarkowodoru do komory badawczej, odczekiwano ok. 1 min, do czasu wymieszania się siarkowodoru w powietrzu. Tak przygotowane stężenie siarkowodoru w powietrzu znajdującym się w komorze badawczej poddawano próbom neutralizacji, rozpylając wewnątrz komory preparaty antyodorowe.

Po wtłoczeniu do komory badawczej określonej ilości siarkowodoru i jego wymieszaniu się z powietrzem załączano instalację neutralizującą. W efekcie działania instalacji komorę wypełniał rozpylony w formie mgły środek neutralizujący (rys. 6).



Rys. 6. Strumień rozpylonego środka antyodorowego [1]

Po określonym czasie instalację wyłączano, a następnie odczekiwano założony czas ekspozycji siarkowodoru na działanie środka neutralizującego. Następnie poprzez przyłącze poboru powietrza, pobierano próbkę gazu do analizy sensorycznej. Pobór powietrza realizowano poprzez zassanie powietrza znajdującego się w komorze badawczej (przy użyciu wentylatora), do worka polipropylenowego naciągniętego na przyłącze poboru.

Równocześnie, do szklanej pipety, poprzez przyłącze do poboru powietrza, pobierano próbkę powietrza przeznaczoną do analizy chromatograficznej (rys. 7).



Rys. 7. Pobór próbki zanieczyszczonego powietrza do analizy chromatograficznej [1]

Program badań obejmował kilkadziesiąt serii pomiarowych dla wszystkich wytypowanych do badań środków antyodorowych oraz nadtlenu wodoru i wody przemysłowej. W celu identyfikacji poszczególnych próbek powietrza, w trakcie dokonywania poboru numerowano je. Na tej podstawie możliwym było dokonanie oceny sensorycznej wszystkich próbek przez zespół testujący.

Po przeprowadzeniu wszystkich prób badawczych oczyszczono komorę badawczą poprzez odciągnięcie zanieczyszczonego powietrza, a następnie doprowadzono do jej wyschnięcia. Po zamknięciu komory badawczej pobrano próbkę powietrza niezanieczyszczonego oraz próbkę powietrza zanieczyszczonego siarkowodorem, które posłużyły jako próbki kontrolne w analizie sensorycznej.

5. Omówienie wyników badań

Pobrane w trakcie badań próbki poddano analizie sensorycznej oraz analizie chromatograficznej. Do badań chromatograficznych wytypowano po jednej próbce powietrza neutralizowanego każdym z zastosowanych środków antyodorowych tj. próbki o numerach: 3, 6, 9, 12, 23. W przypadku analizy sensorycznej, do badań wykorzystano wszystkie pobrane próbki powietrza pochodzącego z komory badawczej.

Badanie chromatograficzne gazu zostało wykonane przez specjalistów z Wydziału Chemii Politechniki Śląskiej. Wyznaczono stężenie siarkowodoru w dostarczonych próbkach powietrza. Przykładowe wyniki stężenia siarkowodoru przedstawiono w tabeli 1.

Zgodnie z zaproponowaną metodyką, na podstawie badań stężenia siarkowodoru, określono skuteczność jego redukcji η_{red} (tabela 1). W tym celu skorzystano ze wzoru (1):

$$\eta_{red} = \frac{S_1 - S_2}{S_1} \times 100\% \quad (1)$$

gdzie:

S_1 - stężenie siarkowodoru przed wprowadzeniem czynnika antyodorowego,

S_2 - stężenie siarkowodoru po wprowadzeniu czynnika antyodorowego.

**Wyniki badań chromatograficznych stężenia siarkowodoru i skuteczności jego neutralizacji
wytypowanymi środkami antyodorowymi [1]**

Tabela 1.

Nr próbki	Środek antyodorowy	Wartość stężenia siarkowodoru [ppm]	Skuteczność redukcji siarkowodoru [%]
6	McKenic	0,1	98,6
9	Naner	0,15	97,9
12	OWS	0,2	97,1
3	Woda przemysłowa	0,1	98,6
23	Nadtlenek wodoru 35%	0,05	99,3

Równolegle do badań chromatograficznych przeprowadzono analizę sensoryczną próbek gazu pobranych w trakcie badań stanowiskowych. Próbki powietrza zebrane do worków polipropylenowych, poddano ocenie zespołu składającego się z sześciu osób (rys. 8). Nadawali oni próbce wartość odczuwalnej uciążliwości zapachowej, w zakresie 0÷10. Wartość 10 oznaczało zapach najbardziej uciążliwy.



Rys. 8. Zespół do oceny sensorycznej uciążliwości zapachowej [1]

Przed przystąpieniem do oceny próbek powietrza pobranego w trakcie procesu neutralizacji, członkowie zespołu zapoznali się z próbkami „czystego powietrza”, pobranego

z komory badawczej oraz próbkami zanieczyszczonymi siarkowodorem o stężeniu 7 ppm. Umożliwiło to określenie warunków brzegowych poziomu uciążliwości zapachowej oraz ustalenie punktu odniesienia do oceny pozostałych próbek. Przykładowe wyniki oceny próbek powietrza przez zespół przedstawiono w tabeli 2.

Wyniki oceny redukcji siarkowodoru przez wytypowane środki antyodorowe [1]

Tabela 2.

Nr próbki	Ocena [1÷10]						Wartość średnia
	Tester 1	Tester 2	Tester 3	Tester 4	Tester 5	Tester 6	
8	4	7	6	5	5	10	6,1
6	4	7	4	3	4	6	4,8
1	0	0	0	0	0	0	0,0
5	6	5	4	3	4	4	4,3
9	6	5	7	3	5	8	5,5
14	7	8	8	7	8	4	6,9
12	7	10	8	8	6	10	8,3
3	4	7	3	2	3	4	3,7
11	3	7	3	5	3	3	3,8
4	3	8	6	3	5	3	4,6
13	7	7	8	5	5	5	6,1
7	6	3	3	5	6	4	4,6
10	4	8	3	10	6	4	6,0
18	10	10	10	10	10	10	10,0
24	4	5	2	3	5	4	3,9
25	4	5	2	2	8	1	3,7
22	7	7	4	7	9	5	6,4
21	9	7	7	5	9	5	6,8
20	7	3	4	3	6	5	4,9
23	4	5	3	2	6	5	4,3

Celem prowadzonych badań była weryfikacja stopnia neutralizacji uciążliwości zapachowej siarkowodoru w próbkach powietrza, z użyciem wytypowanych do badań preparatów oraz wykazanie, który z preparatów jest najskuteczniejszy. Oceny stopnia neutralizacji siarkowodoru dokonano w oparciu o wyniki badań chromatograficznych oraz na podstawie analizy sensorycznej.

Na podstawie badań chromatograficznych, wykazano, że stężenie siarkowodoru w powietrzu najskuteczniej zmniejszał nadtlenek wodoru 35%, którego skuteczność redukcji wyniosła 99,3%. Kolejnymi środkami skutecznie redukującymi stężenie siarkowodoru był środek McKenic oraz woda przemysłowa, których skuteczności wyniosła około 98,6%.

Wartości skuteczności redukcji siarkowodoru z zanieczyszczonego powietrza powyżej 90% nie świadczą o wysokiej skuteczności redukcji uciążliwości zapachowej siarkowodoru.

Wyczuwalny może być nawet poniżej 0,001 ppm, dlatego też próbki powietrza poddano analizie sensorycznej. W efekcie przeprowadzonej analizy, najniższą uciążliwość zapachową uzyskano przy stosowaniu nadtlenu wodoru 35%. Według testerów skuteczność redukcji siarkowodoru wyniosła średnio 4,3, dla pojedynczego dawkowania oraz 3,9 i 3,7, dla drugiego i trzeciego rozproszania środka w komorze badawczej. Równie niski poziom odczuwalności siarkowodoru uzyskano w przypadku zastosowania wody przemysłowej, średnio 4,6 po jednokrotnym rozpyleniu oraz 4,3 i 3,7 po drugim i trzecim rozpyleniu.

Trzecim w kolejności środkiem antyodorowym, który pozwolił na obniżenie poziomu uciążliwości zapachowej siarkowodoru do wartości średniej wynoszącej 6, po pierwszym rozpyleniu oraz do wartości 5,5 i 3,8, po drugim i trzecim rozpyleniu, był Naner.

W przypadku użycia preparatu McKenic uzyskano wartości redukcji 4,8, po jednym rozpyleniu, 4,6 i 6,9, po drugim i trzecim. Dla preparatu OWS wartości te wynosiły odpowiednio 8,3, 6,1 oraz 6,9. Wyniki badań sensorycznych preparatów McKenic i OWS wykazały wzrost odczuwanych przez testerów uciążliwości zapachowych. Przyczynę takiego stanu rzeczy upatruje się w intensywności zapachowej ww. preparatów, które przy wysokich stężeniach (kolejne rozpylenia) mogły wywoływać dyskomfort zapachowy niekoniecznie związany oddziaływaniem siarkowodoru na aparat węchu.

6. Podsumowanie

W rozdziale przedstawiono wyniki prac projektowych i badawczych dotyczących neutralizacji uciążliwości zapachowych. Na potrzeby weryfikacji stopnia neutralizacji uciążliwości zapachowych zaprojektowano i wykonano stanowisko badawcze umożliwiające wytwarzanie atmosfery złowonnej oraz dozowanie środka antyodorowego.

W trakcie badań wytwarzano w komorze badawczej atmosferę złowonną przy użyciu siarkowodoru, każdorazowo o jednakowym stężeniu. W badaniach użyto kilku preparatów, które w określonych dawkach rozpylano w komorze badawczej. Pobrane próbki powietrza poddano analizie chromatograficznej oraz ocenie sensorycznej grupy testerów.

Zaproponowana metodyka i program badań pozwoliły na weryfikację stopnia skuteczności użytych w badaniach środków w redukcji uciążliwości zapachowych wywołanych siarkowodorem. W trakcie badań testowano również pracę instalacji neutralizującej przy różnych parametrach zasilania. Przeprowadzone próby dostarczyły informacji, które będą mogły w przyszłości być wykorzystane w procesie projektowania instalacji, przeznaczonych do konkretnych aplikacji przemysłowych.

Literatura

1. Praca statutowa ITG KOMAG: Badania stanowiskowe umożliwiające osiągnięcie VI stopnia technologiczności i określające skuteczność redukcji stężenia gazów złowonnych. Budowa stanowiska badawczego - cz. II, 2016, (materiały niepublikowane).
2. Szynkowska M.I., Zwoździak J.: Współczesna problematyka odorów, WNT, Warszawa 2010.

Indeks autorów

Dominik Bałaga 170
Andrzej Drwięga
Jacek Dubrowski
Andrzej Figiel
Piotr Gospodarczyk
Jakub Grabowski
Marek Kalita 170
Zdzisław Kłeczek
Jacek Korski 6
Krzysztof Kotwica
Sławomir Liszka
Paweł Mendiya
Dariusz Michałak
Edward Pieczora
Magdalena Rozmus
Michał Siegmund 170
Grzegorz Stopka
Dawid Szurgacz
Mariusz Woszczyński