



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Elektrotechniki, Automatyki,
Informatyki i Inżynierii Biomedycznej.
Katedra Energoelektroniki i Automatyki
Systemów Przetwarzania Energii

AUTOREFERAT

ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

OPTYMALIZACJA ZABEZPIECZEŃ
STOSOWANYCH W SYSTEMIE STEROWANIA
MASZINY WYCIĄGOWEJ
WSPÓŁPRACUJĄCEJ Z AGREGATEM
HYDRAULICZNYM UKŁADU HAMULCOWEGO

mgr inż. Tomasz Karpiel

Promotor pracy:

Prof. dr hab. inż. Stanisław Piróg

Promotor pomocniczy:

Dr inż. Tomasz Siostrzonek

Kraków 2020

Obwód bezpieczeństwa maszyny wyciągowej to jeden z najważniejszych elementów składowych górniczego wyciągu szybowego. Od jego niezawodności i prawidłowej konstrukcji zależy bezpieczeństwo transportowanej załogi lub ładunku. Ilość elementów tego obwodu jest duża, szczególnie w maszynach z cyfrowymi regulatorami jazdy, a każdy z elementów podlega ciągłej kontroli.

Obwód bezpieczeństwa jest zbudowany z elementów, których stan włączenia lub wyłączenia jest uzależniony od stanu pracy poszczególnych urządzeń i układów instalacji wyciągowej. Jeszcze kilka lat temu obwód bezpieczeństwa tworzony był jako fizyczne zestawienie elementów stykowych. Obecnie stosuje się układy mikroprocesorowe, służące również do sterowania i regulacji, które są częścią urządzeń swobodnie programowalnych nazywanych sterownikami (ang. PLC – Programmable Logic Controller). Po zadziałaniu jednego z elementów obwodu bezpieczeństwa następuje hamowanie układu maszyny wyciągowej – hamowanie bezpieczeństwa. Hamowanie bezpieczeństwa powinno nastąpić w przypadku:

1. zaniku napięć zasilających maszynę wyciągową,
2. przekroczenia granicy prądowej przeciążalności silnika napędowego występującej w normalnych warunkach pracy,
3. przejazdu wyłączników krańcowych,
4. zadziałania zabezpieczeń przed niesprawnym działaniem hamulca,
5. spadku prądu wzbudzenia silnika napędu DC o 10% od wartości znamionowej,
6. zadziałania czujnika kontroli prędkości obrotowej przetwornic w maszynach wyciągowych z układem Leonarda,
7. zadziałania zabezpieczeń przed przekroczeniem prędkości,
8. nieskutecznego awaryjnego zatrzymania maszyny wyciągowej za pomocą jej napędu,
9. zaniku stanu załączenia rodzaju pracy maszyny wyciągowej w czasie jazdy,
10. zaniku stanu załączenia rodzaju sterowania maszyny wyciągowej w czasie jazdy,
11. zadziałania zabezpieczeń napędu,
12. niewyłączenia stycznika, włączającego hamowanie generatorowe silnika asynchronicznego, w odpowiedniej odległości od poziomu końcowego,
13. odhamowania maszyny wyciągowej w stanie jej zablokowania,
14. niezamierzonego hamowania lub odhamowania maszyny wyciągowej,
15. zadziałania elementów kontroli pracy nadajników sygnału proporcjonalnego do prędkości jazdy w układzie regulacji prędkości,

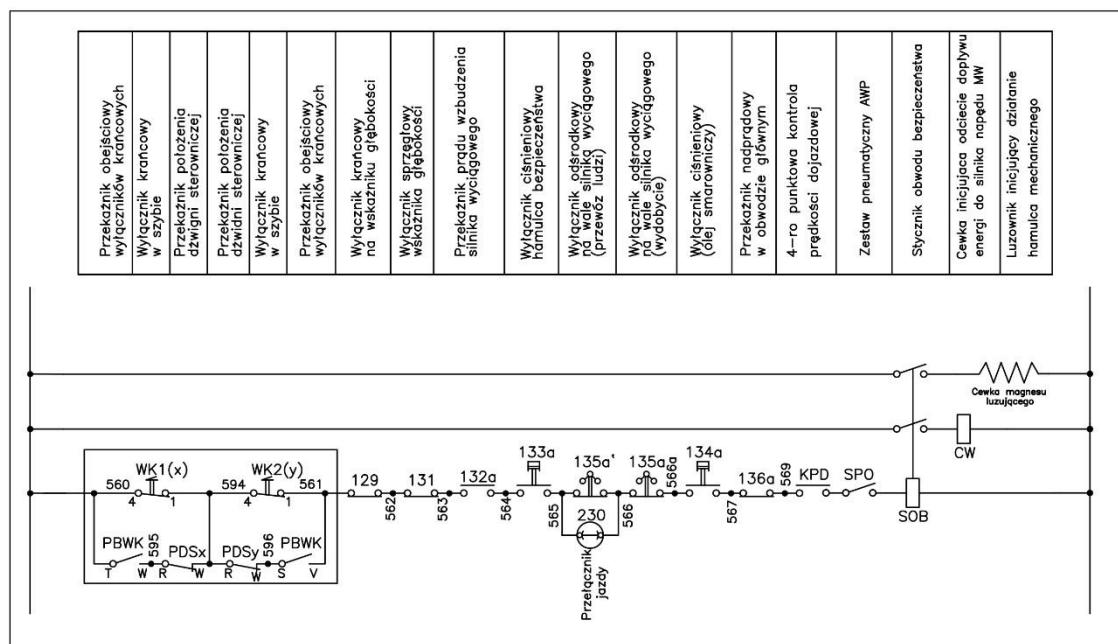
16. przzerwania ciągłości napędu elementów odwzorowania drogi jazdy;
17. zadziałania zabezpieczeń przeciwko nadmiernemu rozsynchronizowaniu cyfrowego układu regulacji prędkości;
18. ruchu maszyny wyciągowej w kierunku przeciwnym do zadanego przy sterowaniu automatycznym.

Elementem wykonawczym, uruchamiającym hamowanie bezpieczeństwa w hamulcach pneumatycznych, jest luzownik lub elektromagnes, w nowszych rozwiązaniach: elektrozawór. W hamulcach hydraulicznych, pozbawienie zasilania elektrozaworu wywołuje spadek ciśnienia w siłownikach i rozpoczęcie procesu hamowania.

Odłączenia dopływu energii do silnika napędu maszyny wyciągowej, podczas hamowania bezpieczeństwa, jest realizowane poprzez blokowanie impulsów sterowniczych przekształtnika. W starszych rozwiązaniach: w przypadku maszyn z napędem indukcyjnym – wyłączenie pola rozdzielni zasilającego silnik napędowy, w maszynach z silnikiem prądu stałego – odwzbudzenie prądnicy sterującej (WLO).

Na rysunku 1-1 pokazano przykładowy obwód bezpieczeństwa maszyny w wykonaniu stykowym. W szeregowym połączeniu elementów stykowych znajdują się m.in.: wyłączniki krańcowe WK i PDSx/y z wyłącznikami obejściowymi, wyłącznik kontroli ciśnienia sprężonego powietrza 129, wyłącznik kontroli ciśnienia oleju smarowniczego 131, wyłączniki odśrodkowe przetwornicy 132a, kontroli prędkości ciągnięcia urobku i jazdy ludzi o numerach 135a, 135a', przekaźnik nadprądowy 136a, kontroli prędkości KPD, łącznik awaryjnego otwarcia zaworu SPO [80].

Elementem wykonawczym jest cewka magnesu luzującego (luzownik) zasilana poprzez stycznik SOB. Wraz z hamulcem bezpieczeństwa zostaje również odłączony stycznik CW, którego wyłączenie spowoduje odcięcie energii od silnika napędowego.



Rysunek 1-1: Zasada działania fizycznego obwodu bezpieczeństwa

Obecnie elementy obwodu bezpieczeństwa są kontrolowane wielokrotnie, co powoduje dodatkowe przerwy w pracy urządzenia. Zakres kontroli jest zależny od rodzaju przeprowadzanej rewizji (tygodniowe – wykonywane raz w tygodniu i analogicznie: sześciotygodniowe, półroczne i roczne).

Takie podejście do zagadnienia kontroli poszczególnych elementów nie jest uzasadnione z technicznego i ekonomicznego punktu widzenia i nie wpływa na poprawę bezpieczeństwa pracy wyciągu. Dlatego proponowane wprowadzenie procedur samokontroli może okazać się rozwiązaniem najlepszym zarówno pod względem technicznym jak i ekonomicznym, przy jednoczesnym zachowaniu wysokiego poziomu bezpieczeństwa i pewności ruchowej.

Maszyny wyciągowe są podstawowym środkiem transportu pionowego w kopalniach głębinowych. Dzięki nim możliwe jest przemieszczanie się załogi pomiędzy powierzchnią a dołem kopalni, dostarczanie materiałów potrzebnych do wydobycia, jak również transportowanie urobku na powierzchnię.

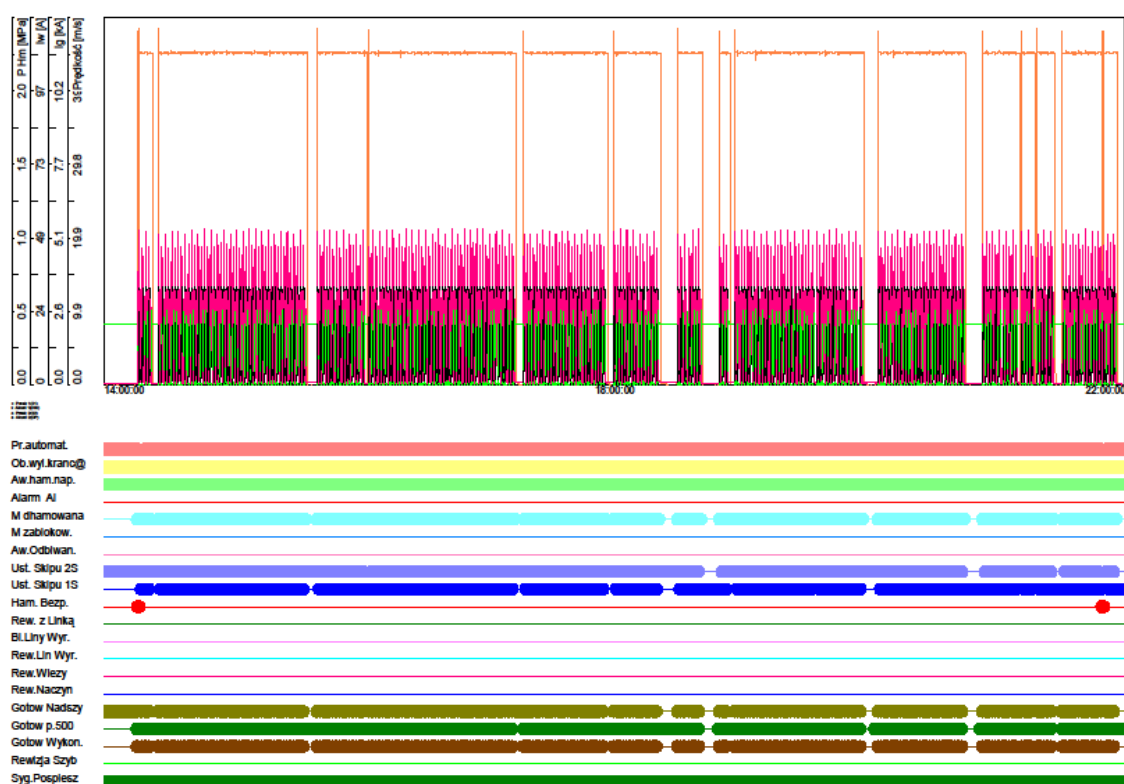
Czas, w którym maszyna nie wykonuje swoich zadań przekłada się na określone skutki ekonomiczne. Najbardziej oczywiste to straty z tytułu niewyciągniętego urobku.

W celu zobrazowania czasu pracy i czasu trwania kontroli maszyny, na rysunku 1-3 została przedstawiona rejestracja cyklu pracy maszyny wyciągowej skipowej, losowo wybranej 8-godzinnej zmiany pracy. Został do tego celu wykorzystany cyfrowy aparat rejestrujący AR-3c.

Cyfrowy Aparat Rejestrujący AR-3c, przedstawiony na rysunku 1-2, przeznaczony jest do rejestracji przebiegów wielkości fizycznych, charakteryzujących pracę różnych maszyn i urządzeń. Wielkości te, pozyskiwane za pośrednictwem różnorodnych czujników i przetworników przedstawiane są, w zależności od ich charakteru, w postaci wartości elektrycznych analogowych lub dwustanowych. Aparat ten został zaprojektowany do rejestracji wybranych parametrów i stanów pracy górniczych wyciągów szybowych, umożliwiając rejestrację wszystkich wymaganych przepisami sygnałów i wielkości, pochodzących z układów sygnalizacji szybowej i układów sterowania maszyną wyciągową.



Rysunek 1-2: Cyfrowy Aparat Rejestrujący AR-3c

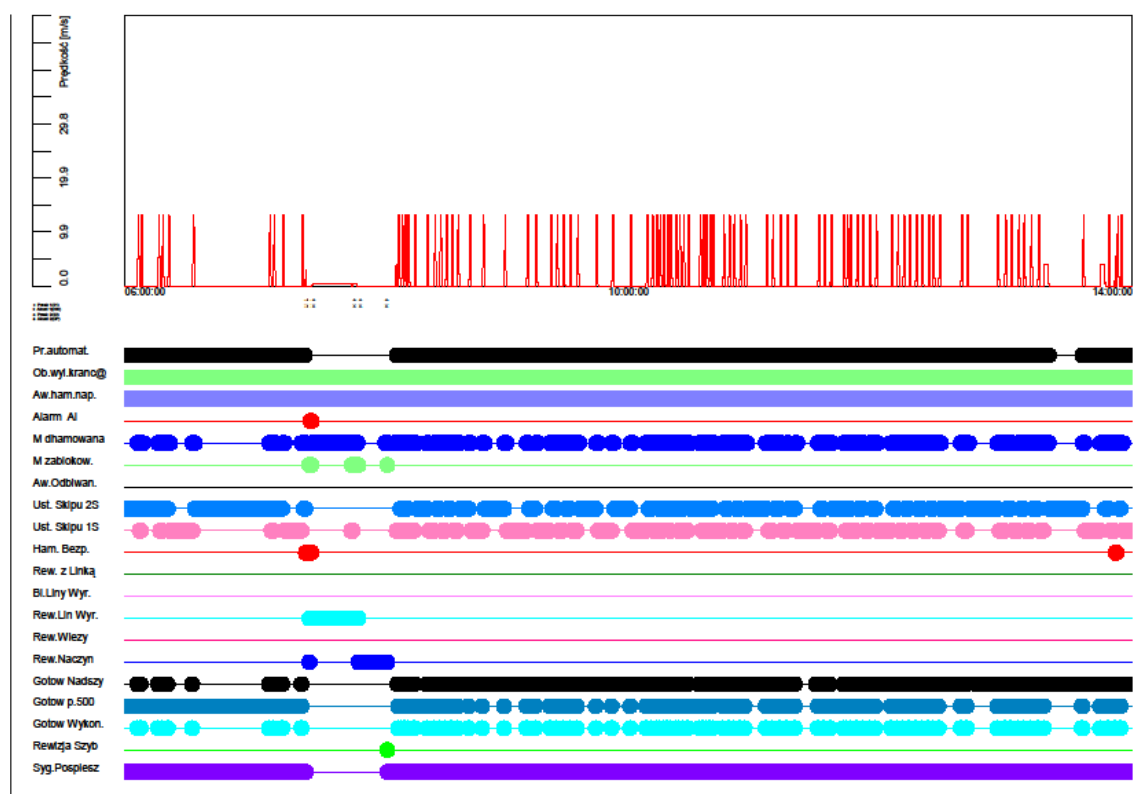


Rysunek 1-3: Rejestracja losowo wybranej 8-godzinnej zmiany pracy

Rejestracja 1-3 przedstawia 8-godzinną zmianę wydobywczą, ilość wydobytych skipów: 223. Rejestrowane sygnały binarne przedstawione w dolnej części rysunków. Rejestrowane są następujące sygnały analogowe:

1. natężenie prądu obwodu głównego,
2. natężenie prądu wzbudzenia silnika wyciągowego,
3. ciśnienie w układzie hamulca manewrowego,
4. przebieg prędkości,
5. ciśnienie w układzie hamulca bezpieczeństwa.

Zgodnie z dokumentacją górniczego wyciągu szybowego, zakładana wydajność to 40 skipów/godzinę. Ładowność skipu jest równa 15 Mg. Oprócz węgla transportuje się również skałę płoną, można przyjąć, że tylko 90% wyciągniętego urobku to czysty węgiel, w tym przypadku to 13,5 Mg, czyli 540 Mg/godzinę. Średnie wydobycie wynosi: 30 skipów/godzinę, czyli wydajność wynosiła 405 Mg/godzinę.



Rysunek 1-4: Rejestracja losowo wybranej kontroli maszyny wyciągowej.

Rejestracja 1-4 przedstawia kontrolę maszyny wyciągowej podczas rewizji T (wykonywana nie rzadziej niż co tydzień), czas wykonywania (postoju maszyny wyciągowej): 2h.

Tabela 1-1: Czas trwania kontroli maszyny wyciągowej w ciągu roku (48 tygodni), na podstawie przedstawianych rejestracji

Rodzaj kontroli	Ilość kontroli w ciągu roku (48 tygodni)	Suma czasu
R (roczna)	1 kontrola, trwająca 3 x 8 godzin	24 godzin
R/2 (półroczna)	1 kontrola 12 godzinna	12 godzin
R/8 (sześciotygodniowa)	8 kontroli 4 godzinnych	32 godziny
T (tygodniowa)	38 kontroli 2 godzinnych	76 godzin
	Suma:	144 godziny

Tabela 1-2: Zestawienie zatrudnionych dodatkowo osób do wykonywania kontroli maszyny wyciągowej

Rodzaj kontroli	Wymagani pracownicy	Ilość osób	Ilość kontroli (rok)
R (roczna)	RZ, KDEM, DEM, OEM, MMW, US.	1 1 2 1 2	1
R/2 (półroczna)	KDEM, DEM, OEM, MMW, US.	1 1 2 1 2	1
R/8 (sześciotygodniowa)	WDEM, OEM, MMW, US.	2 2 1 2	8
T (tygodniowa)	DEM,	1	38

	OEM,	1	
	MMW,	1	
	US.	2	

Legenda:

RZ – rzeczoznawca (firma zewnętrzna),

KDEM – kierownik działu energomechanicznego,

WDEM – uprawniona osoba wyższego dozoru ruchu,

DEM – uprawniona osoba dozoru ruchu,

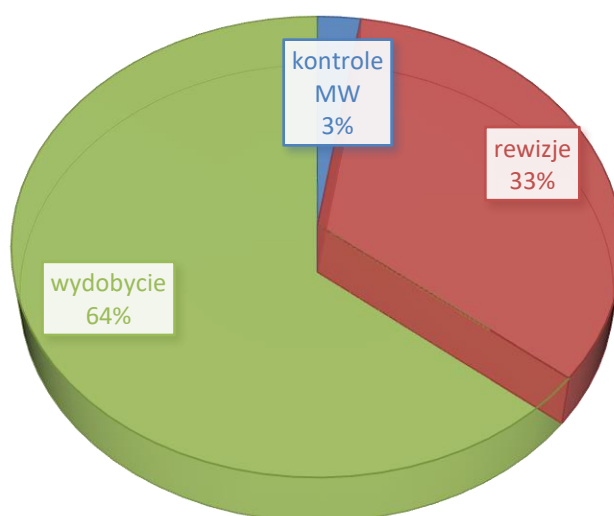
OEM – osoba upoważniona do prowadzenia rewizji,

MMW – maszynista maszyny wyciągowej,

US – upoważniony sygnalista szybowy.

Postoje, oprócz wynikających z przeprowadzanych kontroli, wynikają również z dobowego harmonogramu prac. Według harmonogramu, czas przeznaczony na ciągnięcie urobku (efektywny czas pracy) to: dwie zmiany robocze (16 godzin) pięć dni w tygodniu. Pozostały czas jest przewidziany na wykonywanie wszystkich rewizji oraz przeprowadzenie napraw wynikających z wykonanych rewizji. Czas kontroli maszyny wyciągowej 144 godziny/rok, czyli średnio 3 godziny tygodniowo. Strata finansowa, związana z wykonywaniem kontroli maszyny wyciągowej w jednym roku (48 tygodni): **18 487 440 zł.**

Średni tygodniowy czas pracy maszyny wyciągowej jest przedstawiony graficznie na rysunku 1-5.



Rysunek 1-5: Średni tygodniowy czas pracy maszyny wyciągowej

Przestoje maszyn wyciągowych są związane z awariami lub przeprowadzanymi wymaganymi kontrolami. Optymalnym rozwiązaniem byłoby przeprowadzanie kontroli podczas pracy.

Celem pracy jest opracowanie optymalnych procedur (pod względem technicznym i zgodności z odpowiednimi przepisami) umożliwiających badanie elementów obwodu bezpieczeństwa maszyny wyciągowej odpowiedzialnych za pracę agregatu hydraulicznego układu hamulcowego maszyny wyciągowej.

Zastosowanie ich zmniejszy czas przeznaczony na czynności kontrolne i badania. Dzięki temu zwiększy się czas dyspozycyjny maszyn, a co za tym idzie, poprawiona będzie wydajność urządzenia wyciągowego przy zachowaniu pełnej sprawności zabezpieczeń. Wprowadzenie tych procedur pozwoli zwiększyć poziom bezpieczeństwa i uniknąć pewnych awarii dzięki bieżącej diagnostyce urządzenia. Zwiększenie bezpieczeństwa odbywać się będzie na zasadzie profilaktyki i przewidywania niebezpiecznych sytuacji, które wynikać mogą m.in. z błędu ludzkiego (obecnie czynności kontrolne przeprowadzane są przez obsługę, a wynik jest subiektywną oceną dokonywaną przez pracownika).

Biorąc pod uwagę doświadczenia polskiego przemysłu wydobywczego, najlepszym rozwiązaniem konstrukcyjnym urządzenia jest zapewnienie kontroli jego zabezpieczeń bez udziału człowieka. Znaczy to, że w urządzeniu może zostać przeprowadzona kontrola układów zabezpieczających np. po każdorazowym jego uruchomieniu. Obecnie kontrolę taką prowadzi np. obsługujący maszynę wyciągową lub osoba dozoru. Wykonuje się to w ściśle określony sposób, jednak nigdy nie jest zachowana powtarzalność prób.

Tezy pracy:

1. Wprowadzenie procedur samokontroli pozwoli zoptymalizować efektywny czas pracy maszyny wyciągowej.
2. Odpowiednie wykonanie zabezpieczeń układu hamulca maszyny wyciągowej, pozwala na przeprowadzenie samokontroli elementów obwodu bezpieczeństwa bez zmniejszenia poziomu bezpieczeństwa urządzenia.

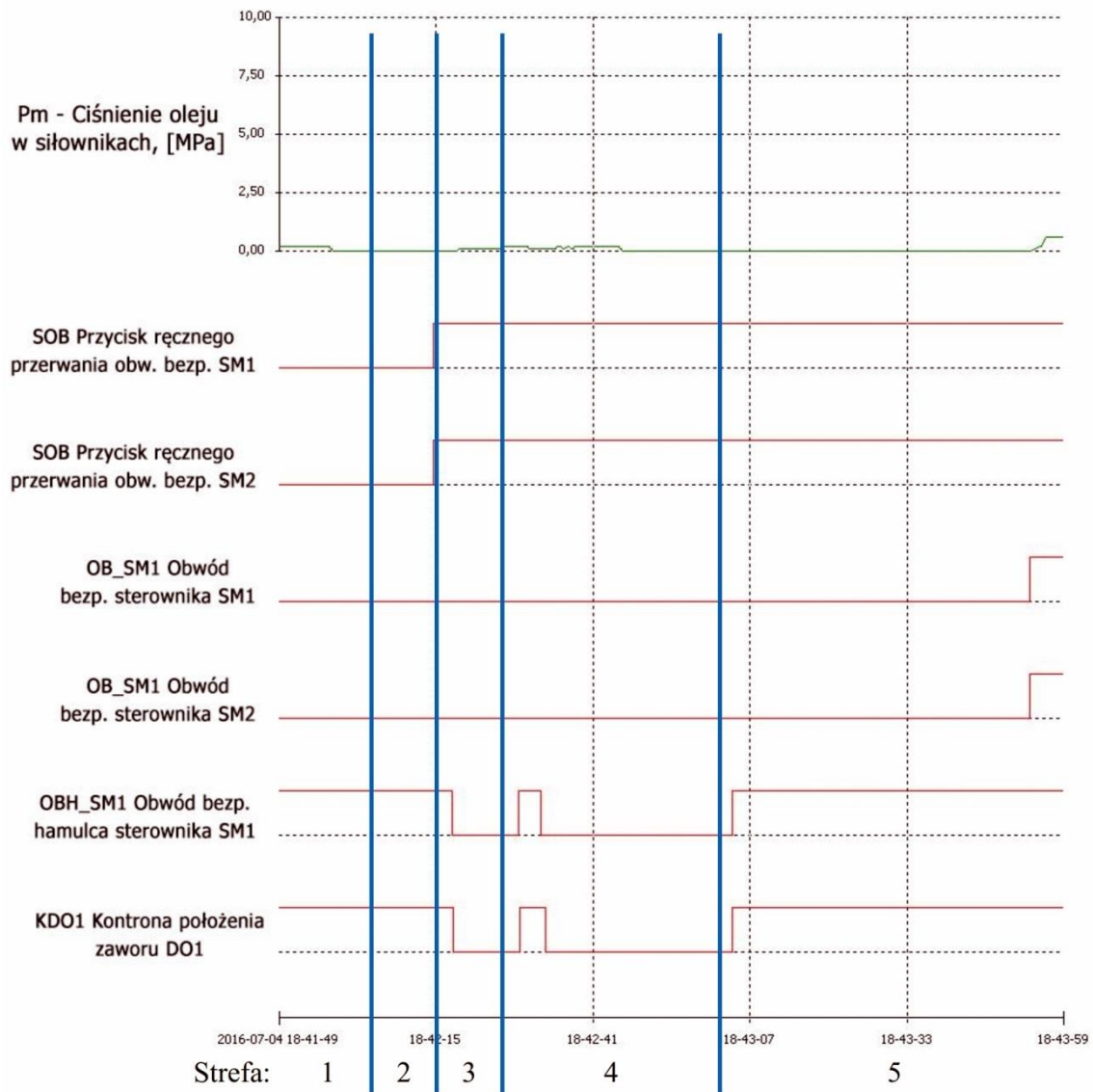
Badaniom zostały poddane elementy obwodu bezpieczeństwa, odpowiedzialne za pracę agregatu hamulcowego. Przykład może stanowić zabezpieczenie KDO1 – kontrola zaworu DO1. Zawór DO1 stanowi element układu całkowitego rozładowania ciśnienia. Zadaniem układu jest rozładowanie ciśnienia w instalacji hydraulicznej hamulca, celem osiągnięcia pełnej siły hamującej podczas hamowania, po zmniejszeniu prędkości maszyny poniżej 1 m/s lub upływie najdłuższego czasu przeznaczonego na hamowania. Zawór DO1 zostaje otwarty, czyli przestawiony w pozycję do wywołania pełnej siły hamującej, co powoduje zmniejszenie ciśnienia w siłownikach hamulcowych do zera.

Pierwszym etapem procedury jest kontrola, czy organ sterujący zaworu DO1 jest otwarty, czyli sprawdzenie wysterowania pełnej siły. Po pozytywnie przeprowadzonej próbie układ pozwala uruchomić maszynę. W czasie pracy agregatu – włączony obwód bezpieczeństwa, zawór powinien być zamknięty (co jest kontrolowane w sposób ciągły), a na postoju otwarty – co jest kontrolowane każdorazowo przy włączaniu obwodu bezpieczeństwa.

Położenie organu sterującego elektrozaworu jest kontrolowane poprzez czujniki indukcyjne.

Poszczególne strefy badania zostały przedstawione na rysunku 1-6. Została zasymulowana nieprawidłowa pozycja organu sterującego w zaworze DO1, (stan „0” dla KD01 w strefie 3, co spowodowało wyłączenie cewki wykonawczej obwodu bezpieczeństwa hamulca (stan „0” dla OBH_SM1 w strefie 3), która z kolei wyłączyła obwód bezpieczeństwa powodując zatrzymanie maszyny (stan „0” dla OB_SM1 Obwód bezp. sterownika SM1 i OB_SM1 Obwód bezp. sterownika SM2 w strefie 3)

Maszyna wyciągowa szybu „Andrzej V” przedział zachodni



Rysunek 1-6: Rejestracja działania KDO1.

Poszczególne strefy, przedstawione na rysunku 1-6, prezentują wyniki badania:

Strefa 1: kontrola działania obwodu bezpieczeństwa, ręczne przerwanie przyciskiem SOB (stan „0” dla „SOB przycisk ręcznego przerwania obw. bezp. SM1 i SM2 oraz dla OB_SM1 Obwód bezp. sterownika SM1 i OB_SM1 Obwód bezp. sterownika SM2),

Strefa 2: załączenie obwodu bezpieczeństwa przy sprawnie działającym hamulcu i układzie sterowania hamulca maszyny wyciągowej, (stan „1” dla „SOB przycisk ręcznego przerywania obw. bezp. SM1 i SM2 oraz dla OB_SM1 Obwód bezp. sterownika SM1 i OB_SM1 Obwód bezp. Sterownika SM2),

Strefa 3: kontrola działania zabezpieczenia:

- symulacja nieprawidłowego działania kontrolowanego elementu (stan „0” dla KDO1),
- jednoczesne wyłączenie obwodu bezpieczeństwa (stan „0” dla OB_SM1 Obwód bezp. Sterownika SM1 i OB_SM1 Obwód bezp. Sterownika SM2),

Strefa 4: próba załączenia obwodu bezpieczeństwa przy niesprawnym badanym zabezpieczeniu

- niesprawny badany element (stan „0” dla KDO1) nie pozwala na załączenie obwodu bezpieczeństwa (stan „0” dla OB_SM1 Obwód bezp. Sterownika SM1 i OB_SM1 Obwód bezp. Sterownika SM2),
- maszyna wyciągowa nie jest gotowa do ruchu, zablokowana do czasu usunięcia uszkodzenia.

Strefa 5: przywrócono po próbach układ hamulcowy do pracy, wykonano próbę załączenia obwodu bezpieczeństwa:

- prawidłowo działający badany element (stan „1” dla KDO1),
- załączenie cewki wykonawczej obwodu bezpieczeństwa hamulca sterownika SM1 (stan „1” dla OBH_SM1),
- załączenie cewek obwodu bezpieczeństwa OB_SM1 i OB_SM2 (stan „1” dla OB_SM1 Obwód bezp. Sterownika SM1 i OB_SM1 Obwód bezp. Sterownika SM2),
- maszyna wyciągowa jest gotowa do ruchu.

Zabezpieczenie KDO1 – kontrola zaworu DO1, porównuje sygnały analogowe pochodzące czujników indukcyjnych PS3 i PS4 służących do pomiaru ciśnienia na drogach spływowych ciśnień resztkowych układu hamulcowego, z wartością zadaną ze sterowników.

Podczas włączenia obwodu bezpieczeństwa (uruchamiania maszyny wyciągowej) ciśnienia w drogach spływowych pracującego agregatu i układu hamulcowego muszą być równe jest 0 [MPa].

Na rysunku 1-6, został przedstawiony przypadek, w którym poprzez wymuszoną zmianę pozycji zaworu DO1, ciśnienie P_m większe od 0 [MPa], pojawiło się ciśnienie (stan niezgodny z wartością zadaną ze sterowników) – w wyniku niezgodności sygnałów maszyny wyciągowej nie można uruchomić.

Zaprezentowany układ nie wymaga przeprowadzania dodatkowych badań. Obecnie, zgodnie z przepisami, jego kontrolę należy przeprowadzać co sześć tygodni (rewizja R/8).

Jeżeli przyjąć, że układ jest kontrolowany podczas każdego załączenia obwodu bezpieczeństwa, to można wnioskować, że układ spełnia wymogi samokontroli. Jeżeli wystąpiłaby usterka w postaci pojawienia się różnicy ciśnień w drogach spływowych ciśnienia resztkowego pracującego agregatu w układzie hamulcowym z wartością zadaną ze sterowników, to układ odczytuje to jako stan nieprawidłowy.

W procesie optymalizacji zabezpieczeń w systemie sterowania maszyny wyciągowej, współpracującej z agregatem hydraulicznym układu hamulcowego, zastosowano kryterium maksymalizacji bezpieczeństwa przy jednoczesnej minimalizacji czasu postoju przeznaczonego na wymagane badania i kontrole. Zastosowane metody badań pozwoliły zweryfikować poszczególne funkcje elementów obwodu bezpieczeństwa, nadzorujących pracę agregatu hydraulicznego, układu hamulcowego maszyny wyciągowej.

Ilość elementów zabezpieczających pracę maszyny wyciągowej jest duża, szczególnie w maszynach z cyfrowymi regulatorami jazdy, a każdy z elementów podlega wielokrotnej kontroli.

Maszyny wyciągowe służą przede wszystkim do ciągłego ruchu (wydobycie, jazda ludzi, transport materiałów, roboty i prace szybowe) i każdy przestój jest niekorzystny z ekonomicznego punktu widzenia. Zasadnym jest, więc poszukiwanie możliwości technicznych i prawnych, które pozwolą na samoczynną kontrolę działania zabezpieczeń. Stosując przedstawione w pracy rozwiązania, zyskujemy:

- zwiększenie wydajności pracy szybu, poprzez likwidację zbędnych przerw w pracy wyciągu,
- zmniejszenie zatrudnienia osób wykonujących dodatkowe badania i kontrole,
- zwiększenie bezpieczeństwa, przez krotkość badań elementów z samokontrolą.

Prof. Ludger Szklarski i współautorzy w jednej z licznych publikacji piszą: „Zasadniczym kierunkiem rozwoju jest realizacja zadania wydobywczego w sposób optymalny. Pojawia się

zagadnienie optymalizacji pracy i sterowania maszyny wyciągowej, które ma różnorodny charakter.

Można poprzez optymalizację rozumieć zarówno dobór podstawowych parametrów procesu wydobywania, takich jak prędkość ustalona, czy minimalizację mocy znamionowej silnika bądź zużycia energii elektrycznej. Optymalizacja może też wyrażać się kształtowaniem wykresu jazdy, dającym efekt zmniejszenia niekorzystnych zjawisk w pracy wyciągu, takich jak np. oscylacje. Wreszcie pod pojęciem optymalizacji można rozumieć wybór tych technologii, które zapewniają większą niezawodność i łatwiejszą bieżącą diagnostykę oraz obsługę”

Również doc. Tadeusz Zmysłowski w swojej publikacji pisze: „Przedstawiono tu optymalizację nie „sensu stricto”, jako wykreowanie funkcji celu i poszukiwanie ekstremum, ale jako szerokie pojęcie, nieograniczone do ścisłych procedur ani do arbitralnie wybranego kryterium. Polega ona na poszukiwaniu wszechstronnie korzystnych rozwiązań technicznych. Wobec licznych kryteriów nieuchronnie zaistnieje tu konieczność ocen arbitralnych. Złożoność problemu i zachodzące antynomie wykluczają pełne zobiektywizowanie ocen, więc problem niejako wymyka się z obszaru zagadnień poddających się ścisłej analizie i kwantyfikacji. W tych warunkach drogą do pozytywnych rozwiązań jest jedynie droga trudnych kompromisów z ewentualnym wspomaganie poprzez ważenie kryteriów”

Wyniki przeprowadzonych eksperymentów pozwalają stwierdzić, że badane zabezpieczenia, nie wymagają przeprowadzania dodatkowych czasochłonnych kontroli unieruchamiających górniczy wyciąg szybowy i można je zakwalifikować do grupy zabezpieczeń z samokontrolą.

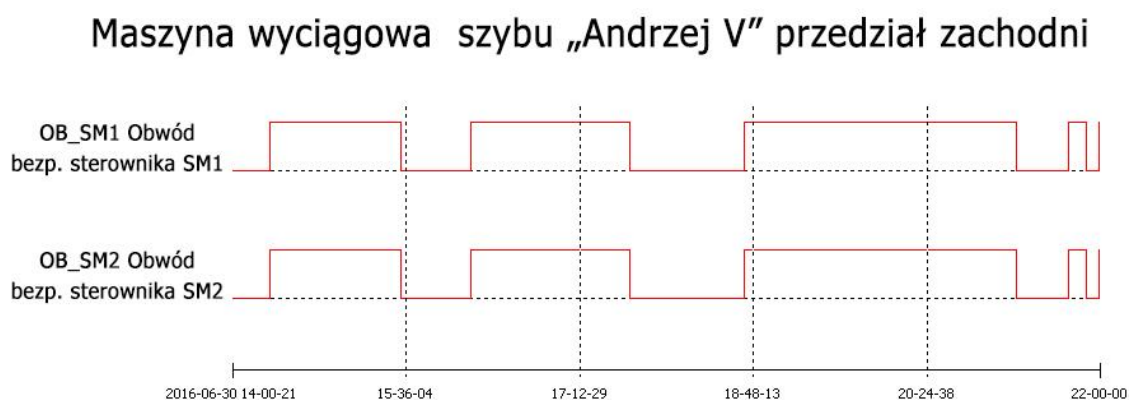
Przedstawiona współpraca zabezpieczeń hamulca maszyny wyciągowej z jej układem sterowania zapewnia, że maszynę wyciągową można uruchomić tylko przy sprawnie działającym agregacie hamulcowym. Prawidłowe zadziałanie zabezpieczeń spowoduje zatrzymanie maszyny.

Przeprowadzone badania potwierdzają, że praca wszystkich układów jest kontrolowana każdorazowo podczas włączenia obwodu bezpieczeństwa. Wyłączanie obwodu bezpieczeństwa, a następnie jego włączanie następuje wielokrotnie podczas normalnej pracy maszyny wyciągowej. Np. jest wyłączany dla zabezpieczenia w czasie prac szczególnie odpowiedzialnych w szybie – stanowiąc zabezpieczenie przed nieumyślnym odhamowaniem podczas przeprowadzania prac, związanych z rewizją (np. wyłącznik krańcowy wieży jest

pobudzany podczas codziennej kontroli szybu – musi spowodować wyłączenie obwodu bezpieczeństwa).

Maszynista wyciągowy przy przejściu stanowiska, zobligowany jest do wykonania prób hamulca (próba statyczna hamulca manewrowego, próba statyczna hamulca ciężarowego, kontrola ciśnienia wyprzedzenia i resztkowego), czyli przed każdą zmianą (co 8 godzin) czterokrotnie załączany jest obwód bezpieczeństwa, w wyniku czego czterokrotnie wykonywane są kontrole wszystkich układów zabezpieczających podczas normalnej pracy, bez dodatkowych przerw w pracy wyciągu szybowego.

Przedstawiona na rysunku 1-7 rejestracja obrazują krotność włączeń obwodu bezpieczeństwa, czyli ilość przeprowadzanych kontroli przedmiotowych elementów obwodu bezpieczeństwa, w czasie losowo wybranej ośmiogodzinnej zmiany.



Rysunek 1-7: Włączanie obwodu bezpieczeństwa w czasie jednej zmiany.

Cel pracy został osiągnięty. Udowodniono, że elementy obwodu bezpieczeństwa maszyny wyciągowej kontrolujących pracę agregatu hydraulicznego układu hamulcowego są wielokrotnie sprawdzane samoczynnie i nie jest wymagane przeprowadzanie dodatkowych, czasochłonnych procedur kontrolnych.

Badania prowadzone na potrzeby tej dysertacji miały na celu wykazanie, że warunki pracy badanego zabezpieczenia pozwalają na zakwalifikowanie go, jako elementu urządzenia z samokontrolą. Nie jest zatem wymagane przeprowadzanie dodatkowych, czasochłonnych procedur kontrolnych. Eliminuje się również ryzyko związane z możliwością uszkodzenia badanego elementu podczas prób np. wymagany demontaż, ponieważ element jest badany w jego środowisku pracy przy wykorzystaniu jego funkcji w układzie.

Badany układ został zoptymalizowany, stosując kryterium maksymalizacji bezpieczeństwa przy jednoczesnej minimalizacji czasu postoju przeznaczonego na wymagane

badania i kontrole. Kontrole wykonywane podczas normalnej pracy, pozwoliły zmniejszyć czas przeznaczony na czynności dodatkowe. Dzięki temu zwiększył się czas pracy maszyny, a co za tym idzie poprawiona jest wydajność urządzenia wyciągowego przy zachowaniu pełnej sprawności zabezpieczeń.