



POLITECHNIKA
LUBELSKA
LUBLIN UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY

Ul. Nadbystrzycka 38D
20-618 Lublin
NIP 712-010-46-51

Opinia naukowo – techniczna wykonana na podstawie umowy
nr 69/NN/2025/WM

Dotycząca:

Dwóch algorytmów obliczeń sił w zawiesiach i odciągach podczas jazdy kolejki podwieszanej na podstawie wyników pomiarów przeprowadzonych na obiekcie rzeczywistym z uwzględnieniem złożoności układu oraz różnych wartości jego parametrów.

Lublin 12 stycznia 2026 r.

Zamawiający:

Zakłady Produkcyjno-Handlowe „Stalpol”, ul. Budowlana 50, 20-469 Lublin wpisana do Rejestru Przedsiębiorców przez Sąd Rejonowy Lublin-Wschód w Lublinie z siedzibą w Świdniku VI Wydział Gospodarczy Krajowego Rejestru Sądowego pod nr KRS 0000078440, NIP 865-00-02-982, REGON 005664130

Podstawa wykonania opinii:

1. Umowa 69/NN/2025/WM
2. Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych. Dz. U. z 2017 r. poz. 1118, którego § 122 pkt. 4 ma brzmienie: „Maksymalna siła wypadkowa pochodząca od kolejki wraz z ładunkiem i obciążeniem pochodzącym od innych urządzeń, jaką można obciążyć pojedyncze odrzwia obudowy nie przekracza 40 kN. Stosowanie większych obciążeń jest dopuszczalne pod warunkiem przeprowadzenia obliczeń potwierdzających zachowanie stateczności obudowy wyrobiska”.

Cele wykonania opinii:

1. Ocena stopnia zgodności dostarczonych algorytmów, opracowanych na podstawie wyników pomiarów uzyskanych na obiekcie rzeczywistym tj. wykonanych pod ziemią w warunkach rzeczywistych, na trasie będącej w eksploatacji w JSW S.A. KWK BUDRYK i PGG S.A. KWK ZIEMOWIT, z zapisem § 122 pkt. 4 Rozporządzenia Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych (Dz. U. z 2017 poz. 1118), tj. sposobu obliczania maksymalnej siły wypadkowej pochodzącej od kolejki wraz z ładunkiem.
2. Określenie możliwości wykorzystania dostarczonych przez Zamawiającego algorytmów do opracowania programu komputerowego (narzędzia), służącego do bieżących obliczeń wartości sił w zawiesiach z dokładnością odpowiednią dla prac inżynierskich.

Materiały dostarczone przez Zamawiającego:

1. AZW - algorytm w postaci schematów blokowych, do obliczenia maksymalnej siły wypadkowej pochodzącej od zawiesia zestawu transportowego kolejki podwieszanej z napędem własnym.
2. AZWa – algorytm w postaci schematów blokowych, do obliczenia maksymalnej siły wypadkowej pochodzącej od zawiesia i odciągu zestawu transportowego kolejki podwieszanej z napędem własnym.
3. Sprawozdanie pt. "Pomiary sił pionowych i poziomych, pochodzących od kolejki podwieszanej z napędem własnym wraz z ładunkiem, na torze nachylonym (JSW S.A. KWK Budryk)", opracowane przez CADCOM s.c. ul. Korfantego 11, 44-186 Gierałtowiec w grudniu 2018r.
4. Sprawozdanie pt. "Pomiary sił pionowych i poziomych, pochodzących od kolejki podwieszanej z napędem własnym wraz z ładunkiem, na torze nachylonym (PGG S.A. KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit)", opracowane przez CADCOM PL ul. Powstańców Śląskich 49, 44-186 Gierałtowiec w grudniu 2021r.

Uwagi odnośnie rozporządzenia:

W treści rozporządzenia Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych (Dz. U. z 2017 poz. 1118), tj. sposobu obliczania maksymalnej siły wypadkowej pochodzącej od kolejki wraz z ładunkiem nie zawarto wytycznych odnośnie metodyki obliczeń.

Sposób kontroli działania i weryfikacji prawidłowości obliczeń prowadzonych z wykorzystaniem algorytmów AZW i AZWa:

1. Analiza algorytmów pod względem spójności i skalowalności,
2. Sporządzenie kodu w języku programowania Fortran,
3. Testowanie prawidłowości założeń i zgodności wyników działania oprogramowania z wynikami pomiarów zawartymi w sprawozdaniach dostarczonych przez Zamawiającego.

Trasa, kolejka i pomiary

Według zapisów zawartych w sprawozdaniach dostarczonych przez Zamawiającego, nadzór merytoryczny nad wykonywanymi pomiarami był sprawowany przez przedstawicieli Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego w Łędzinach (obecnie Centrum Badań i Dozoru). Byli oni obecni podczas wszystkich pomiarów jak również na bieżąco kontrolowali stan techniczny jezdni oraz urządzeń transportowych.

Pomiary wartości sił prowadzone były na obiekcie rzeczywistym, w przekopie pochyłym odstawczym w rejonie Szybu VI, pomiędzy poziomem 900 i pokładem 358/1 (JSW S.A. KWK Budryk) oraz w rejonie P-1 na poziomie II w chodniku 699 w pokładzie 308 (PGG S.A. KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit). W grupie predyktorów, których wpływ oceniano przy stałym kącie nachylenia trasy Δ , były:

- kąt zawiesia α ,
- długość zawiesia LZ,
- długość szyny L,
- długości szyn sąsiadujących, podłączonych do jednego zawiesia,
- prędkość przejazdu kolejki po trasie,
- kierunek ruchu zestawu na wzniosie lub po upadzie,
- masa poszczególnych wózków jezdnych wraz z przypadającą na każdy z nich masą ładunku,
- odległości pomiędzy wózkami jezdnymi zestawu,
- położenie wózków w zestawie kolejki,
- masa całkowita zestawu transportowego,
- gradient obciążenia w czasie przejazdu ciężkiego wózka przez całą długość szyny,
- zawiesie kontruujące – brak lub zamontowane pod znacznie większym kątem α niż inne ciągną,
- brak lub zainstalowanie odciągów bocznych na odcinku pomiarowym, parami w liczbie od dwóch do czterech,
- kąt nachylenia trasy był równy 12° (KWK Budryk) lub 5° (KWK Ziemowit).

Lista parametrów, które były bezpośrednio mierzone lub obliczone, a następnie używane do dalszej analizy wyników i syntezy zależności:

- przebieg wartości siły w czasie przejazdu kolejki, w każdym z ośmiu lub dziewięciu zawiesi zamontowanych na odcinku pomiarowym, wyposażonym w boczne odciążenia stabilizacyjne lub bez nich,
- porównanie dystrybuanty rozkładu czasowego siły zmierzonej w zawiesiach, przy takich samych i różnych parametrach przejazdu kolejki,
- przebiegi czasowe sumy rzutów sił zmierzonych w zawiesiach na płaszczyznę normalną do trasy, przy różnej prędkości i kierunku przejazdu kolejki,
- maksymalne wartości siły w zawiesiu, zmierzone podczas przejazdu kolejki po trasie z różną prędkością, w obydwu kierunkach a przy tym przewożącej ładunek o różnej masie,
- maksymalne wartości sił we wszystkich zawiesiach zainstalowanych na trasie, przy zadanej prędkości przejazdu kolejki i kierunku, i ich zgodność z rozkładem teoretycznym,
- dystrybuanta i wartości maksymalne siły w zawiesiach charakteryzujących się podobnymi parametrami geometrycznymi: kątem zawiesia α , długością cięgna LZ i długością dołączonych szyn L,
- przebiegi czasowe i wartości maksymalne sił zmierzonych w zawiesiach, z których każde było podłączone do dwóch szyn o takiej samej długości $L = 2250 \text{ mm}$,
- iloraz maksymalnych wartości sił zmierzonych w zawiesiu podczas przejazdu kolejki na wzniosie i po upadzie z taką samą prędkością,
- iloraz siły maksymalnej zmierzonej w zawiesiu i teoretycznej wartości obliczonej w wyniku analizy kinetostatycznej,
- testy statystyczne parametrów, charakteryzujących rozkłady sił maksymalnych zmierzonych we wszystkich zawiesiach, obliczone przy przejeździe kolejki z różnymi prędkościami oraz w różnym kierunku,
- czas narastania i zmniejszania się obciążenia zawiesia podłączonego do szyn o różnej długości w porównaniu z oczekiwanym według analizy teoretycznej,
- współczynnik dynamicznego zwiększenia wartości siły – maksymalnej zmierzonej w zawiesiu lub największej łącznej dla całej kolejki, względem obliczonej dla oddziaływań kinetostatycznych – uwzględniający założony przedział ufności.

Charakterystyka algorytmów AZW i AZWa

Dane wejściowe używane do uruchomienia algorytmu dotyczą parametrów geometrycznych i dynamicznych. W grupie geometrycznych są zmienne związane z konstrukcją trasy, które obejmują następujące parametry:

- długość szyn L ,
- kąt pochylenia ciągu szyn trasy kolejki Δ ,
- kąt odchylenia łańcucha zawiesia od płaszczyzny zawierającej łuk obudowy α ,
- kąt odchylenia łańcucha od płaszczyzny pionowej poprzecznej do szyny β .

Konfiguracja trasy opisana jest także poprzez wprowadzenie danych identyfikujących zawiesia jezdni jako jednocięgnowe lub dwucięgnowe w układzie V. Dodatkowo w algorytmie AZWa wprowadzane są informacje związane z konstrukcją łańcuchów odciągowych: w układzie pojedynczym (jednocięgnowym) lub krzyżowym.

Kolejka podwieszona jest odwzorowana na podstawie rzeczywistego zestawu transportowego. Uzyskano ten efekt poprzez uszeregowanie i nadanie oznaczeń identyfikacyjnych typowym elementom zestawu transportowego, tj. ciągnika, wózka napędowo – hamującego, wózka hamowania awaryjnego, wózków transportowych. Do każdego z tych elementów przypisana jest masa własna lub też masa własna wraz z obciążeniem wynikającym z rozkładu siły ciężkości transportowanego ładunku. Na podstawie rzeczywistego zestawu transportowego pobierane są, i wpisywane jako dana wejściowa algorytmu, odległości pomiędzy wózkami jezdnyimi (nośnymi).

Bazując na Dokumentacji Techniczno – Ruchowej, do każdego wózka napędowego przypisana została nominalna siła napędowa. W przypadku wózka napędowo – hamulcowego lub wózka hamowania awaryjnego, nominalna siła hamująca była uzupełniana według danych producenta.

Algorytm obliczeniowy składa się z modułów realizujących następujący zakres zadań:

- obliczenie maksymalnej składowej siły pionowej na złączu, pochodzącej od mas wózków znajdujących się na szynach po obydwu stronach tego złącza. Czynność ta poprzedzona jest sprawdzeniem liczby wózków po lewej i prawej stronie danego złącza oraz obliczeniem sił pionowych pochodzących od ich ciężaru,
- obliczenie wartości granicznej obciążenia masą zestawu transportowego ze względu na skuteczność hamowania, w funkcji dwóch zmiennych: kąta Δ nachylenia ciągu szyn trasy kolejki podwieszanej oraz siły pionowej, generowanej przez masy wózków znajdujących się po danej stronie złącza,
- obliczenie maksymalnej składowej siły pionowej w zawiesiu środkowym, pochodzącej od mas wózków znajdujących się pomiędzy trzema kolejnymi złączami szyn,
- obliczenie maksymalnej składowej siły w odciążu, pochodzącej od mas wózków znajdujących się pomiędzy dwoma kolejnymi złączami.

Parametry wynikowe, których wartości są szacowane podczas obliczeń prowadzonych według algorytmów:

- siła maksymalna obciążająca zawiesie i przenoszona na obudowę wyrobiska, z prawdopodobieństwem sięgającym 97,5% przypadków – algorytm AZW i AZWa,
- siła maksymalna obciążająca odciąg (tylko algorytm AZWa) i przenoszona na obudowę wyrobiska, z prawdopodobieństwem sięgającym 97,5% przypadków,
- inne wielkości, które wykraczają poza cel i zakres wykonywanej opinii – algorytm AZW i AZWa.

Wnioski

Dostarczone przez Zamawiającego algorytmy AZW i AZWa są oryginalnym opracowaniem, umożliwiającym prowadzenie obliczeń wymaganych w § 122 pkt. 4 Rozporządzenia Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r., ponieważ w treści tego rozporządzenia minister nie zamieścił wytycznych odnośnie sposobu obliczeń maksymalnej siły wypadkowej pochodzącej od kolejki wraz z ładunkiem.

Skoro dane wejściowe są wprowadzone prawidłowo i wartości parametrów obliczonych według dostarczonych algorytmów są zgodne z wynikami pomiarów również dostarczonymi przez Zamawiającego w formie Sprawozdań, to oznacza, że algorytmy również są opracowane prawidłowo.

Algorytmy AZW oraz AZWa zostały przygotowane w sposób prawidłowy. Uwzględniają ogólną wiedzę techniczną i górnictwem. Umożliwiają oszacowanie (obliczenie przy założonym przedziale ufności) wartości sił obciążających łuk obudowy górniczej przez elementy zawieszenia jezdni kolejki podwieszanej z napędem własnym spalinowym. W tym sensie obydwa algorytmy są użyteczne do określenia siły w rozumieniu § 122 pkt. 4 wspomnianego na wstępie rozporządzenia.

Dostarczone przez Zamawiającego algorytmy mogą zostać wykorzystane jako część obliczeniowa narzędzia (programu) komputerowego.

Niniejszą opinię sporządzono w dwóch egzemplarzach.