

Skutki utraty stateczności kombajnu ścianowego w trakcie urabiania calizny węglowej

prof. dr hab. inż. Marek Jaszczuk
mgr inż. Jakub Królak
Instytut Mechanizacji Górnictwa
Wydział Górnictwa i Geologii
Politechnika Śląska

Streszczenie:

W artykule omówiono skutki utraty stateczności kombajnu ścianowego z uwzględnieniem każdej możliwej krawędzi wywrotu. Wśród wszystkich przypadków najistotniejszy, z punktu widzenia bezpieczeństwa załogi oraz efektywności pracy kombajnu, okazał się przypadek, w którym krawędź wywrotu jest równoległa do osi wzdłużnej kombajnu, usytuowana od strony zrobów. W tym przypadku dochodzi do zagłębiania się organu przedniego w skały stropowe. Zaprezentowano przykładowe wartości momentu obrotowego na organie urabiającym w przypadku, w którym kombajn utracił stateczność.

Słowa kluczowe: kombajn ścianowy, stateczność, organ urabiający

Keywords: longwall shearer, stability, cutting drum

Abstract:

In this paper there are presented results of losing stability by longwall shearer with reference of every possible edge of rotation. The most crucial, on account of miners' safety and productivity of longwall shearer, was the case, when the edge of rotation is perpendicular to the longitudinal axis and placed near goaf. In this case headed cutting drum can start excavating roof. There are presented exemplary values of torque on cutting drum in case of losing stability.

1. Wprowadzenie

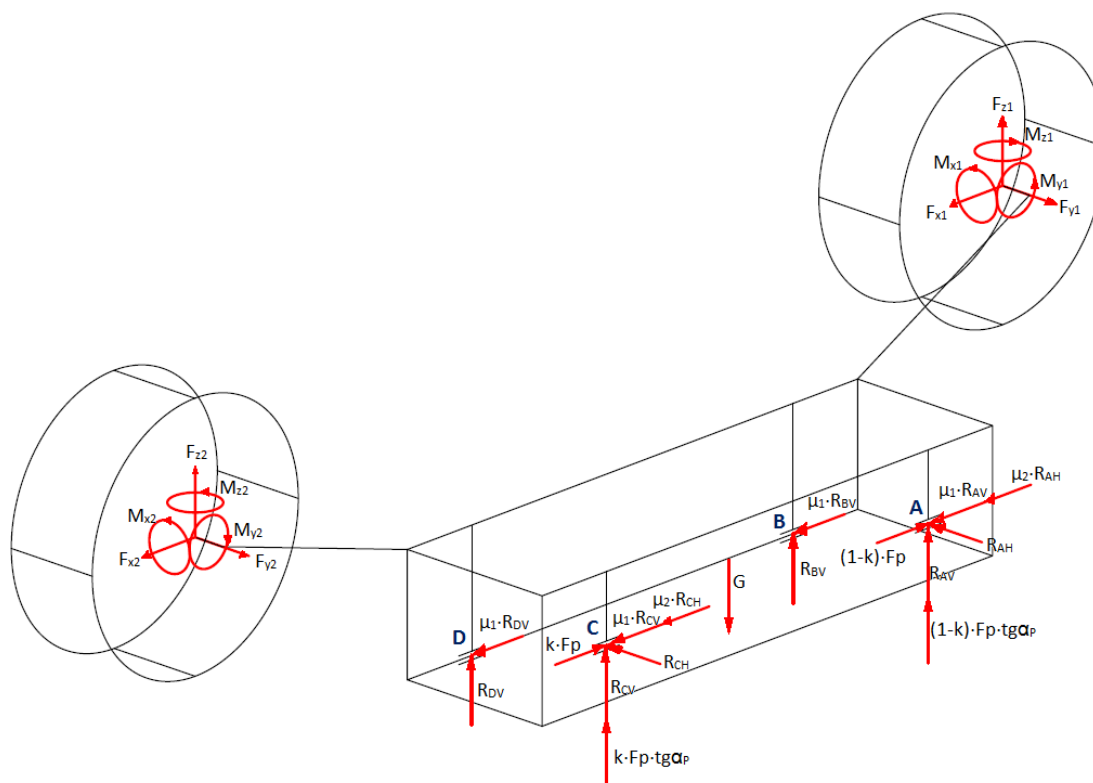
Kombajny ścianowe są maszynami urabiającymi najczęściej wykorzystywanymi w polskim górnictwie węgla kamiennego. Kombajn ścianowy, jak każda maszyna, powinien być użytkowany bezpiecznie, nie powodując narażenia użytkowników na utratę zdrowia. W celu zapewnienia bezpieczeństwa [4], jak i ze względu na możliwość zmiany obciążenia zewnętrznego maszyna powinna zachować stateczność. W przypadku utraty stateczności kombajnu może dojść do negatywnych skutków, takich jak: powstanie sytuacji niebezpiecznej, zmniejszenie wydajności, zanieczyszczenie urobku skałą płoną, nadmierne zużycie cierne podchwytów powodujące uszkodzenie takich elementów kombajnu, jak: koło trakowe, płoza, sanie kombajnowe.

2. Metoda badania utraty stateczności

Zgodnie z normą zharmonizowaną PN-EN 1552 [4] problematykę stateczności rozpatruje się w modelu płaskim, uwzględniającym tylko przekrój poprzeczny kombajnu. Nie uwzględnia się zatem wszystkich sił działających na oba organy. W trakcie urabiania występują bowiem także siły działające prostopadle do tego przekroju, mogące spowodować utratę stateczności względem pozostałych krawędzi wywrotu usytuowanych prostopadle do osi wzdłużnej kombajnu. Przypadki te uwzględniała norma PN-G-50034 [5], zgodnie z którą obliczało się iloraz momentu ustalającego (tj. momentu przeciwdziałającemu wywrotowi względem danej krawędzi wywrotu) i momentu wywracającego z uwzględnieniem każdej krawędzi wywrotu. Biorąc pod uwagę obciążenie kombajnu

w trakcie urabiania może on utracić stateczność względem następujących krawędzi wywrotu (patrz: rys. 1):

- równoległej do osi wzdłużnej kombajnu od strony zrobów (A-C),
- równoległej do osi wzdłużnej kombajnu od strony czoła ściany (B-D),
- prostopadłej do osi wzdłużnej kombajnu (A-B, C-D).



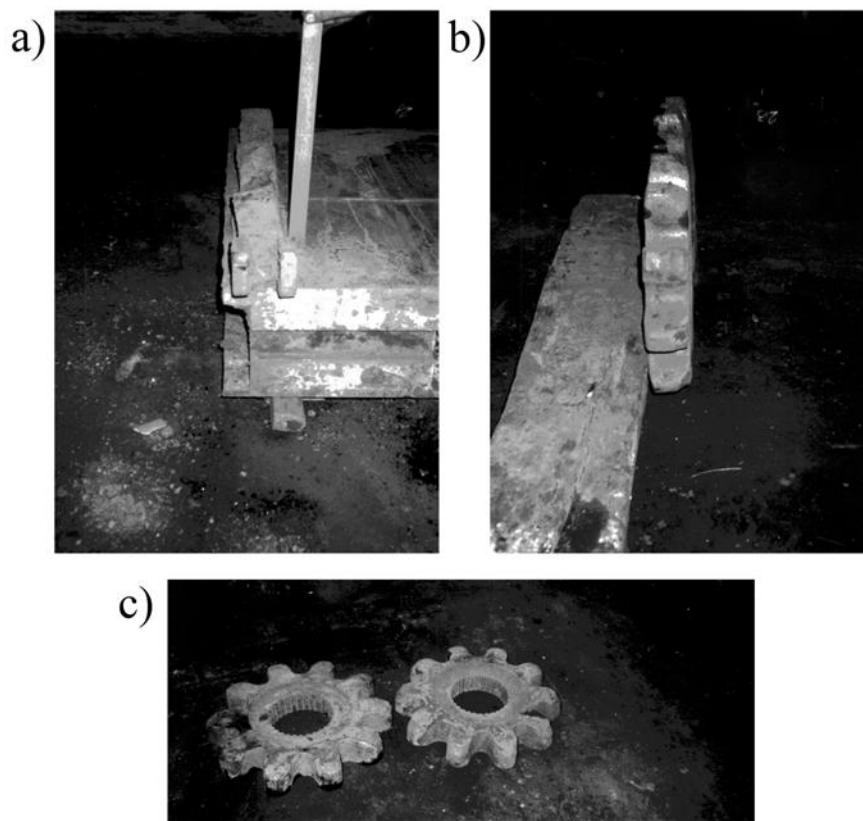
Rys. 1. Przestrzenny model obciążenia kombajnu [2]

Stateczność kombajnu powinna być rozpatrywana z uwzględnieniem wszystkich, wyróżnionych powyżej, krawędzi wywrotu. Kombajn ścianowy traci stateczność, gdy moment wywracający jest większy od momentu ustalającego. Zatem ustalenie przypadków utraty stateczności wymaga ustalenia obciążenia zewnętrznego kombajnu, wynikającego z realizacji procesu urabiania calizny, a także z oporów ruchu i ładowania urobku. Jest to zagadnienie złożone, gdyż niezbędne jest wyznaczenie obciążenia zredukowanego organów urabiających uwarunkowanego właściwościami węgla, parametrami ściany, cechami konstrukcyjnymi organów i charakterystyką techniczną kombajnu [2].

3. Skutki utraty stateczności względem poszczególnych krawędzi podparcia

W przypadku utraty stateczności względem krawędzi wywrotu B-D, wyznaczonej przez punkty podparcia na płozach kombajnu, dojdzie do obrotu kombajnu względem tej prostej. Obrót ten będzie ograniczony z uwagi na fakt, że kombajn posiada podchwytysytuowane w pobliżu punktów kontaktu koła trakowego ciągnika z elementami prowadzenia wzdłuż beczki mechanicznego mechanizmu posuwu. Utrata stateczności względem tej krawędzi spowoduje wzrost oporów ruchu maszyny i prowadzi do zużywania się wcześniej wspomnianych podchwytów. Wzrost oporów ruchu potwierdzają doświadczenia eksploatacyjne, z których

wynika, że występuje wówczas zmniejszenie prędkości posuwu kombajnu. Przykładowe zużycie elementów prowadzenia kombajnu przedstawiono na rysunku 2.



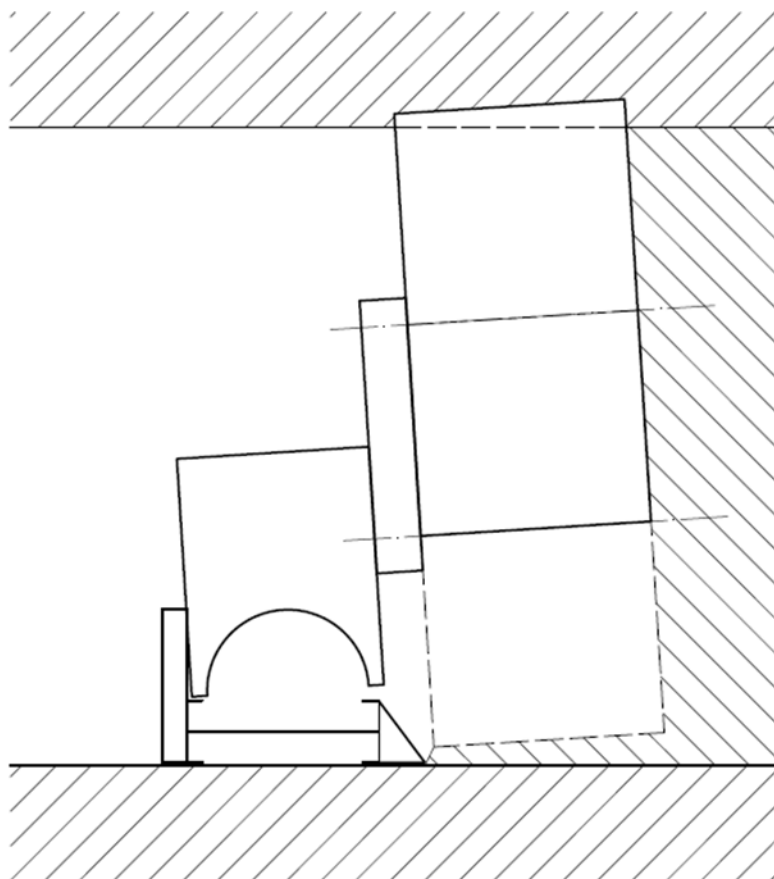
Rys. 2. Przykłady zużycia elementów kombajnu: a) wygięcie elementu sań kombajnowych, b) i c) zużycie cienne koła trakowego, spowodowane utratą stateczności [1]

Przedstawione przykłady zużycia dotyczą kombajnu KSE-360 pracującego w ścianie niskiej. Zmiana położenia kombajnu względem przenośnika spowodowała wygięcie elementów sań, do których mocowane są płozy (rys. 2a) oraz jednostronne zużycie cienne kół trakowych (rys. 2b, 2c).

W przypadku utraty stateczności maszyny, w stosunku do krawędzi wywrotu prostopadłych do osi wzdłużnej kombajnu (A-B, C-D) również dojdzie do obciążenia podchwytów, podobnie jak w poprzednim przypadku. Jednakże kontakt z elementami beczienowego mechanizmu posuwu obciąży tylko jeden podchwyt odpowiednio w punkcie C lub A. W przypadku nadmiernego zużycia ciennego podchwytu, może dojść do utraty kontaktu zębów koła trakowego z zębatką, co prowadzi do sytuacji awaryjnej, w wyniku której występuje kilkugodzinny postój ściany [1].

Utrata stateczności względem krawędzi wywrotu A-C powoduje odchylenie się kombajnu w kierunku zrobów, co przedstawiono na rysunku 3. Utrata stateczności sprawia, że organ przedni zaczyna urabiać skały stropowe, co zwiększa obciążenie zewnętrzne kombajnu, a także powoduje zanieczyszczenie urobku skałą płoną. Tylny organ urabiający również przemieści się w odniesieniu do swojego dotychczasowego położenia, zostawiając tym samym niewybraną przyspągową warstwę węgla. Warstwa ta stanowi występ utrudniający prowadzenie prawidłowej eksploatacji ściany, gdyż może powodować problemy

z przemieszczaniem przenośnika ścianowego do czoła ściany i zmianę ustawienia przenośnika w stosunku do spągu w nowym położeniu. Może to powodować wygięcie trasy przenośnika i powstawanie dodatkowych oporów ruchu łańcucha zgrzeblowego.



Rys. 3. Obrót kombajnu spowodowany utratą stateczności względem krawędzi A-C [opracowanie własne]

Obrót kombajnu względem osi A-C może prowadzić do powstania sytuacji niebezpiecznej. W przypadku wychylenia kombajnu (zwłaszcza, gdy w stropie są skały łatwo urabialne) może dojść do kontaktu organu przedniego z elementami sekcji obudowy zmechanizowanej. W konstrukcji kombajnu ścianowego nie przewidziano elementów, które ograniczałyby obrót kombajnu względem osi wyznaczonej przez koła trakowe, a przeprowadzone badania symulacyjne, uwzględniające różne czynniki wpływu wykazały, że może dochodzić do takiej sytuacji [2].

Powyższa analiza dowodzi, że utrata stateczności wpływa zarówno na bezpieczeństwo użytkownika, jak i efektywność wykorzystania potencjału technicznego kombajnu ścianowego.

Z punktu widzenia bezpieczeństwa najniekorzystniejsza sytuacja występuje w przypadku utraty stateczności względem krawędzi wyrotu równoległej do osi wzdłużnej kombajnu usytuowanej od strony zrobów (A-C). Należy brać pod uwagę fakt, że utrata zazębienia koła trakowego z elementem beczienowego mechanizmu posuwu, wskutek zużycia podchwytu, również może prowadzić do wystąpienia dodatkowych trudności w trakcie wymiany podchwytu, szczególnie w przypadku ścian niskich [1]. Należy zatem wykorzystać dane z układu monitorowania parametrów pracy kombajnu do celów diagnostycznych w aspekcie wyprzedzającej wymiany zużytych podchwytów.

4. Wpływ urabiania stropu przednim organem urabiającym na wartość momentu obrotowego

Wyznaczenie obciążenia podchwytu w przypadku utraty stateczności względem krawędzi A-B, C-D, B-D i związanych z nim oporów ruchu nie stanowi problemu. Pozwala na to matematyczny model obciążenia kombajnu ścianowego przedstawiony w pracy [1].

Natomiast w przypadku utraty stateczności względem krawędzi A-C konieczne jest wyznaczenie dodatkowego obciążenia organu przedniego spowodowanego urabianiem skał stropowych.

Przykładowe obciążenie organu urabiającego wynikające z urabiania skał stropowych przedstawiono na rysunku 4. Obciążenie to zostało wygenerowane w trakcie symulacji procesu urabiania przy wykorzystaniu modułu obliczeniowego programu GeneSiS [6] opracowanego w Instytucie Mechanizacji Górnictwa Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej.

W tabeli 1 przedstawiono parametry geometryczne organu, charakteryzujące układ noży, a w tabeli 2 wartości wytrzymałościowe calizny węglowej oraz skał stropowych, które zostały przyjęte na podstawie [3] do symulacji procesu urabiania w trakcie wychylenia kombajnu w stronę zrobów spowodowanego utratą stateczności.

Cechy konstrukcyjne organu urabiającego [7]

Tabela 1

Średnica	1800 [mm]
Zabiór	800 [mm]
Całkowita liczba noży	52 [szt.]
Średnica nominalna płatów ślimakowych	1508 [mm]
Kąt pochylenia płatów ślimakowych	19,8 [°]
Szerokość płatów ślimakowych	570 [mm]
Liczba płatów ślimakowych	4 [szt.]
Liczba noży na płatach ślimakowych	32 [szt.]
Liczba noży w linii skrawania na płatach ślimakowych	4 [szt.]
Liczba linii skrawania na płatach ślimakowych	8 [szt.]
Szerokość tarczy odcinającej	230 [mm]
Liczba noży na tarczy odcinającej	20 [szt.]
Liczba noży w linii skrawania na tarczy odcinającej	4 [szt.]
Liczba linii skrawania na tarczy odcinającej	5 [szt.]

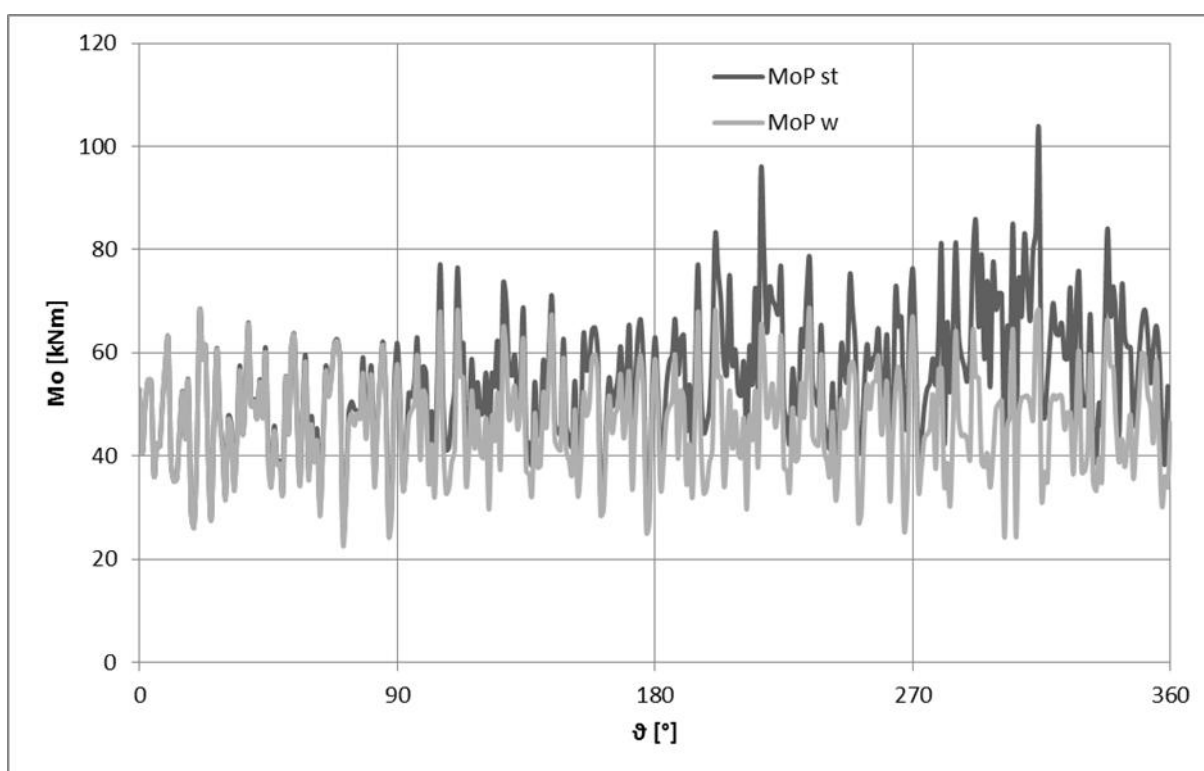
Symulacje przeprowadzono dla prędkości posuwu kombajnu wynoszącej 9 m/min, prędkości obrotowej organów równej 36,2 obr/min. W analizie zaprezentowanej w pracy [2] wykazano, że w przypadku ściany o wysokości 2,4 m kombajn traci wówczas stateczność.

Parametry wytrzymałościowe skał wykorzystane w symulacji

Tabela 2

	Calizna węglowa	Skały stropowe
Wytrzymałość na ściskanie	20 [MPa]	50 [MPa]
Wytrzymałość na rozciąganie	1 [MPa]	4,6 [MPa]
Współczynnik kruchości	20 [-]	10,9 [-]
Kąt bocznego rozkruszenia	60 [°]	37 [°]

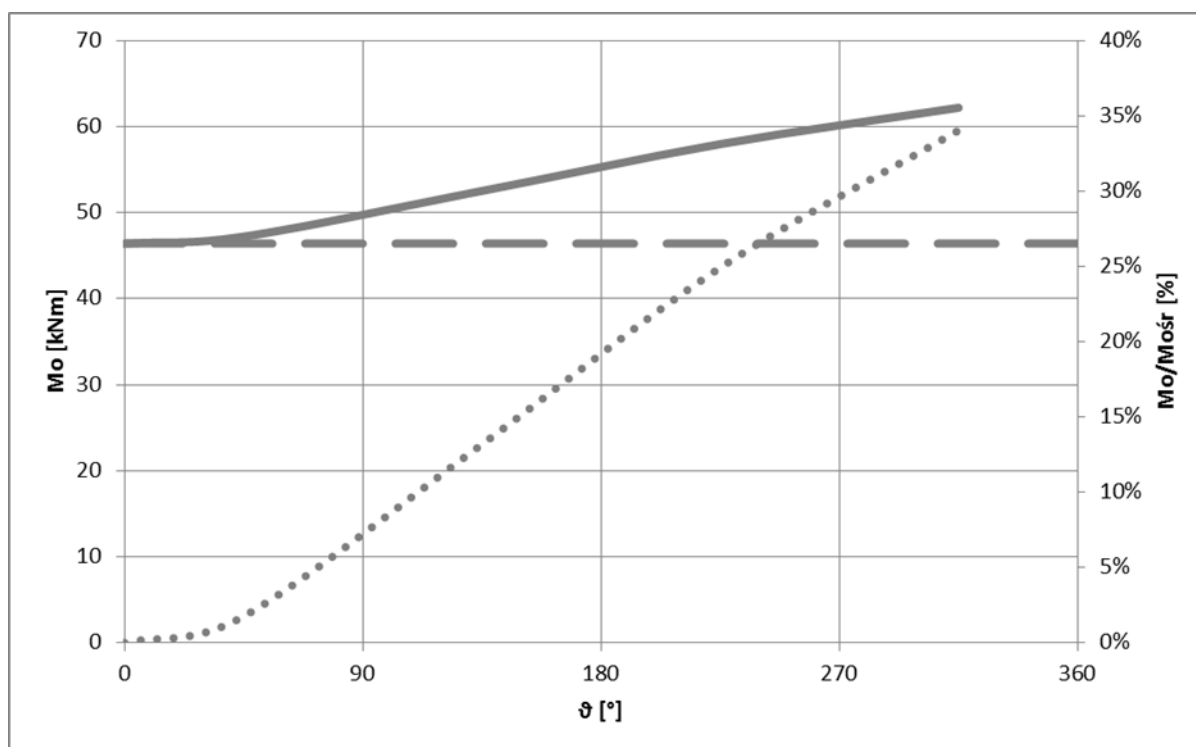
Na rysunku 4 zaprezentowano przykładowy przebieg momentu na organie wyprzedzającym. Kolorem czarnym przedstawiono zmianę obciążenia organu w trakcie jego jednego obrotu, przy prędkości zagłębienia organu w kierunku prostopadłym do kierunku ruchu wynoszącej 2 m/min. Dla porównania kolorem szarym przedstawiono przebieg obciążenia organu w sytuacji, gdy stateczność kombajnu jest zachowana.



Rys. 4. Przebieg momentu obciążającego przedni organ w funkcji kąta obrotu organu wynikający z urabiania węgla (kolor szary) oraz urabiania węgla i skał stropowych (kolor czarny) [opracowanie własne]

Porównanie obu przebiegów dowodzi, że w miarę zagłębienia się organu w skały stropowe zwiększa się moment obrotowy na wale organu.

Dla zadanej prędkości obrotowej organu wynoszącej $n = 36,2$ obr/min obrót o jeden stopień trwa około 0,005 s. Z uwagi na dużą amplitudę zmian momentu wyznaczono wartości średnie momentu dla drogi kątowej wynoszącej 90° (rys. 5).



Rys. 5. Wartości średnie momentu oporów urabiania w funkcji kąta obrotu organu przedniego (oś rzędnych po lewej stronie wykresu): linia kreskowa – przy urabianiu samego węgla, linia ciągła – przy zagłębieniu organu w strop. Procentowa zmiana momentu obrotowego (oś rzędnych po prawej stronie wykresu) – linia kropkowana [opracowanie własne]

Linia kreskową została zaznaczona średnia wartość momentu na organie, wynikająca tylko z urabiania węgla o wytrzymałości na ściskanie równej 20 MPa. Linia ciągła przedstawia wartość momentu obrotowego wynikającego z urabiania węgla oraz skał stropowych, spowodowanego zagłębieniem się organu w strop. Względny, procentowy wzrost obciążenia, wyznaczony jako iloraz przyrostu wartości momentu i momentu na organie w przypadku urabiania samego węgla przedstawiono linią kropkowaną (oś rzędnych po prawej stronie wykresu). W przyjętych warunkach utrata stateczności powoduje wzrost momentu na organie w trakcie jednego obrotu organu o 30% w wyniku zagłębienia w strop o 5 cm. Zatem wzrost momentu obrotowego wynikającego z realizacji procesu urabiania jest znaczący. Wzrost grubości warstwy stropu urabianej organem przednim zachodzi do momentu ponownego uzyskania przez kombajn stateczności.

5. Podsumowanie

Utrata stateczności przez kombajn ścianowy w trakcie urabiania calizny węglowej może powodować:

- powstanie sytuacji niebezpiecznej związanej z kontaktem organu urabiającego warstwę przystropową z elementami sekcji obudowy zmechanizowanej, a tym samym zagrożenie dla osób znajdujących się w pobliżu kombajnu,
- zmniejszenie wydajności kombajnu wskutek zwiększenia oporów urabiania i/lub oporów ruchu,

- zużycie cierne podchwytów, które w skrajnej sytuacji może doprowadzić do wyębienia koła trakowego z elementami beczkięgnowego mechanizmu posuwu i/lub uszkodzenia innych elementów konstrukcyjnych kombajnu.

Kombajn wyposażony jest w podchwyt, które uniemożliwiają obrót względem krawędzi prostopadłych do osi wzdłużnej kombajnu (A-B, C-D) oraz równoległej do osi wzdłużnej kombajnu od strony czoła ściany (B-D). Utrata stateczności kombajnu może powodować uszkodzenie podchwytów, a co za tym idzie pogorszenie prowadzenia kombajnu. Z punktu widzenia bezpieczeństwa oraz efektywności pracy kombajnu, najistotniejszy przypadek stanowi obrót kombajnu względem krawędzi A-C. Utrata stateczności względem tej krawędzi może doprowadzić do powstania sytuacji niebezpiecznej, stanowiącej potencjalne zagrożenie dla załogi. W tym przypadku utraty stateczności występują także zwiększone opory ruchu maszyny, zanieczyszczenie urobku skałą płoną, czy pozostawienie niewybranej przyspągowej warstwy węgla.

Literatura

- [1] Jaszczuk M., Kania J.: Przykład wykorzystania systemu monitorowania pracy maszyn górniczych do identyfikacji stanów awaryjnych, Szkoła mechanizacji górnictwa. Systemy dyspozytorskie i diagnostyczne wymogiem nowoczesnego górnictwa, Szczyrk 22-25 maja 2002
- [2] Jaszczuk M., Królak J.: Metoda badania wpływu utraty stateczności na opory ruchu kombajnu ścianowego, Górnictwo Zrównoważonego Rozwoju, Gliwice 23.11.2016
- [3] Kidybiński A.: Podstawy geotechniki kopalnianej, wyd. Śląsk, Katowice 1982
- [4] Norma PN-EN 1552:2005 Maszyny dla górnictwa podziemnego. Ścianowe maszyny urabiające. Wymagania bezpieczeństwa dla kombajnów ścianowych i zespołów strugowych
- [5] Norma PN-G-50034:2004 Ochrona pracy w górnictwie. Kombajny ścianowe. Wymagania bezpieczeństwa i ergonomii
- [6] Sprawozdanie merytoryczne z wykonanych badań przemysłowych i prac rozwojowych do raportu końcowego projektu badawczego NR09-0031-10 pt.: Wspomaganie komputerowe procesu optymalizacji cech konstrukcyjnych kombajnu ścianowego. 2011 (praca niepublikowana)
- [7] Katalogi producenta kombajnu KOPEX-880E