

Układy i trasy transportu kolejkami podwieszonymi z napędem własnym do przewozu ludzi w wyrobiskach poziomych oraz pochyłych o nachyleniu do 45°

W artykule przedstawiono liczbę układów transportowych i długości tras, na których prowadzona jest jazda ludzi. Zaprezentowano stan prawny obowiązujący w Polsce i Chinach oraz wytyczne Okręgowego Urzędu Arnsberg w Niemczech. Zamieszczono rzeczywiste prędkości jazdy w funkcji czasu, zarejestrowane podczas eksploatacji kolejki podwieszanej w zakładzie górniczym. Określono techniczne możliwości prędkości maksymalnej dla wybranego ciągnika kolejki podwieszanej. Przedstawiono rozszerzony model kryterialny do oceny skutków przeciążeń oddziałujących na operatorów i przewożoną załogę oraz algorytm identyfikacji skutków przeciążeń dynamicznych. Zaprezentowano przykładowe wyniki symulacji – zachowanie się wirtualnego modelu manekina Hybrid III podczas jazdy kabiną osobową na zakręcie.

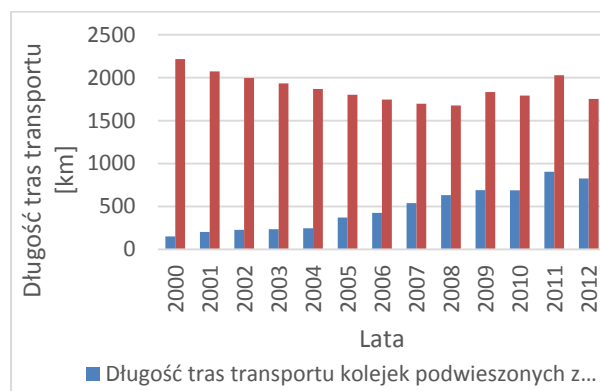
Słowa kluczowe: *górnictwo podziemne, kolejki podwieszane, wirtualne prototypowanie*

1. ZASTOSOWANIE UKŁADÓW I TRAS TRANSPORTOWYCH KOLEJKAMI PODWIESZONYMI Z NAPĘDEM WŁASNYM DO PRZEWOZU LUDZI W WYROBISKACH POZIOMYCH ORAZ POCHYŁYCH O NACHYLENIU DO 45° W POLSKICH KOPALNIACH

Analizę długości tras transportowych oraz liczby kolejek podwieszonych z napędem własnym w wyrobiskach poziomych oraz pochyłych o nachyleniu do 45° przeprowadzono za okres 2000-2012 roku w odniesieniu do długości tras transportu ogółem oraz liczby kopalń czynnych będących w eksploatacji (rys. 1, tab. 1) [1, 2].

Z przeprowadzonej analizy (tab. 1, rys. 1) wynika, że wraz z likwidacją kopalń długość tras transportu ogółem ulega zmniejszeniu, natomiast długość tras transportu kolejkami podwieszonymi z napędem własnym dynamicznie wzrasta bez względu na zmniejszającą się liczbę kopalń czynnych będących w eksploatacji. Długość tras transportu ogółem uległa zmniejszeniu z 2217 km w 2000 r. do 1753 km w 2012 r., tj. o około 21%. Liczba kopalń czynnych

w tym samym czasie zmniejszyła się z 42 do 31, tj. o około 24%. Natomiast długość tras transportu kolejkami podwieszonymi z napędem własnym ulegała systematycznemu wydłużaniu – ze 152 km w 2000 r. do 826 km w 2012 r., tj. około 5,5 razy. Średnia długość trasy kolejek podwieszonych z napędem własnym przypadającej na jedną kopalnię wzrosła z 3,6 km w 2000 r. do 26,6 km w 2012 r., tj. około 7,4 razy.



Rys. 1. Długość tras transportu kolejkami podwieszonymi w wyrobiskach poziomych oraz pochyłych o nachyleniu do 45° [1, 2]

Liczba kolejek podwieszonych z napędem własnym uległa zwiększeniu z 211 szt. w 2007 r. do 471 szt. w 2012 r., tj. wzrosła około 2,2 razy. Średnio liczba kolejek podwieszonych z napędem własnym przypa-

dająca na jedną kopalnię wzrosła z 6,6 szt. w 2007 r. do 15,2 szt. w 2012 r., tj. około 2,4 razy.

Tabela 1.

Długość tras transportu oraz liczba kolejek podwieszonych z napędem własnym w wyrobiskach poziomych oraz pochyłych o nachyleniu do 45° [1,2]

Lp.	Rok	Długość tras transportu kolejkami podwieszonymi z napędem własnym [km]	Długość tras transportu ogółem [km]	Liczba kolejek podwieszonych z napędem własnym [szt.]	Liczba kopalń [szt.]	Średnia długość tras kolejek podwieszonych z napędem własnym przypadająca na kopalnię [km]	Liczba kolejek podwieszonych z napędem własnym przypadających na kopalnię [szt.]
	1	2	3	4	5	6	7
1	2000	152	2217	-	42	3,6	-
2	2001	204	2074	-	42	4,9	-
3	2002	228	1997	-	41	5,6	-
4	2003	235	1933	-	39	6,0	-
5	2004	246	1868	-	35	7,0	-
6	2005	371	1801	-	33	11,2	-
7	2006	425	1745	-	33	12,9	-
8	2007	540	1697	211	32	16,9	6,6
9	2008	632	1677	246	31	19,8	7,7
10	2009	691	1833	286	31	22,3	9,2
11	2010	688	1792	322	31	21,5	10,1
11	2011	905	2029	394	31	29,2	12,7
12	2012	826	1753	471	31	26,6	15,2

Z przeprowadzonej analizy wynika, że następuje dynamiczny rozwój transportu kolejkami podwieszonymi z napędem własnym, zwłaszcza w latach 2005 - 2012. Liczbę układów transportowych oraz długość tras transportu z jazdą ludzi w poszczególnych jednostkach organizacyjnych przemysłu węglowego w 2013 r. scharakteryzowano w tab. 2. [2].

Z analizy wynika, że w kopalniach węgla kamiennego w 2013 r. załogę transportowano kolejkami podwieszonymi z napędem własnym 81 układami transportowymi o łącznej długości trasy wynoszącej 159,5 km [2].

Tabela 2.

Liczba układów transportowych oraz długość tras z jazdą ludzi [2]

Lp.	Jednostka organizacyjna	Liczba układów transportowych [szt.]	Długość tras z jazdą ludzi [km]
	1	2	3
1	KW S.A.	37	72,3
2	JSW S.A.	21	28,4
3	KHW S.A.	3	9,8
4	PKW S.A.	3	7,2
5	LW Bogdanka S.A.	12	37,1
6	PG Silesia	4	3,5
7	ZG Siltech	1	1,2
	Suma	81	159,5

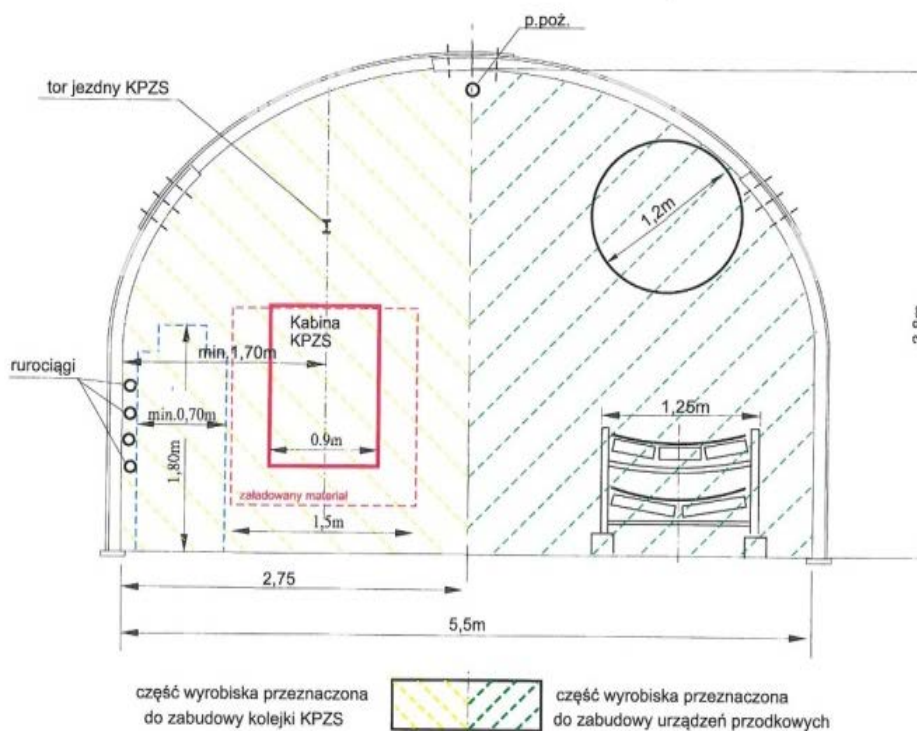
2. ZASADY STOSOWANIA KOLEJEK PODWIESZONYCH W PODZIEMIACH KOPALNI

Analizę wybranych zagadnień transportu kolejkami podwieszonymi z napędem własnym przeprowadzono w oparciu o obowiązujące akty prawne w Polsce [12, 14, 19], Niemczech [18], Rosji [5], Chinach [6] i Wietnamie [5]. Szczególną uwagę zwrócono na przepisy regulujące prędkość przewozu ludźmi środkami transportu z napędem własnym i warunki jego prowadzenia. Z dokumentów normatywnych [6, 19] wynika, że prędkość jazdy zestawem kolejek spaliny podwieszonych powinna być mniejsza niż 3,0 m/s, natomiast z dokumentów źródłowych [5, 12, 14, 19] – nie może przekraczać 2,0 m/s.

2.1. Stan prawny w Polsce

W szczegółowych przepisach prowadzenia ruchu i gospodarki złożem w podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny i brunatny, opracowanych zgodnie z Zarządzeniem nr 38 Ministra Górnictwa i Energetyki z dnia 10.10.1973 r., obowiązującym od 01.01.1974 r. [14], określono, że szybkość jazdy kolejki przy transporcie materiałów i przewozie ludzi nie powinna przekraczać 2 m/s. Również ustalono, że odległość pomiędzy najbardziej wysuniętą częścią kolejki lub transportowanego materiału a obudową lub innymi urządzeniami powinna wynosić co najmniej 0,4 m, a w miej-

scu przeładunku – co najmniej 0,8 m (rys. 2). Określono również, że przy jeździe ludzi w miejscu wsiadania i wysiadania powinno być przejście o szerokości co najmniej 1,0 m, licząc od obrysu kabiny przewozowej, i o wysokości 1,8 m, natomiast odległość od spągu do dolnej krawędzi kabiny osobowej kolejki lub pojemnika materiałowego powinna wynosić nie mniej niż 0,5 m (rys. 2). W wytycznych dotyczących stosowania kolejek podwieszonych, opracowanych przez Ministerstwo Górnictwa w listopadzie 1978 r. [19], zastępujących „Tymczasowe wytyczne stosowania kolejek podwieszonych”, wydane przez Departament Górniczy MGİE w kwietniu 1971 r., ustalono, że nachylenie wyrobiska, w którym zamierza się instalować kolejkę, nie powinno przekraczać 45, natomiast szybkość jazdy kolejki przy transporcie materiałów i przewozie ludzi nie powinna przekraczać 2 m/s. Zmiany w zakresie stosowanych urządzeń transportowych, szczególnie związanych z wymianą kolejek spągowych i podwieszonych z napędami linowymi na kolejki z napędami własnymi, rozpoczęły się w 2003 r. Uległy również nowelizacji przepisy, w oparciu o które prowadzony jest transport kolejkami. Wymagania dotyczące oddawania do ruchu oraz bezpieczeństwa użytkowania układów transportu określono w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych [12].



Rys. 2. Przekrój poprzeczny wyrobiska wraz z wyposażeniem wykonany w obudowie o rozmiarze V/10 [2]

Zawarte w rozporządzeniu wymagania bezpieczeństwa użytkownika regulują m.in. zagadnienia dotyczące:

- utrzymania stanu technicznego oraz zasad eksploatacji i konserwacji zgodnie z ustaleniami dokumentacji techniczno-ruchowych,
- utrzymania wyrobisk i zabudowy układów w sposób gwarantujący zachowanie gabarytów ruchowych (rys. 2.),
- obowiązków osób dozoru ruchu oraz pracowników obsługi w zakresie organizacji prowadzonych prac oraz kontroli środków transportu,
- wyposażenia w urządzenia sygnalizacji, łączności i zabezpieczenia ruchu,
- organizacji oraz warunków prowadzenia przewozu lub jazdy ludzi, gdzie prędkość przewozu ludzi środkami transportu linowego i z napędem własnym nie może przekraczać 2m/s.

Zasady stosowania kolejek podwieszonych w podziemiach kopalń określone zostały również w następujących aktach normatywnych [1, 2, 20]:

- Dyrektywa 2006/42/WE – Bezpieczeństwo maszyn, wprowadzona Rozporządzeniem Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dn. 21 października 2008 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn (Dz. U. nr 199, poz. 1228),
- Dyrektywa 94/9/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dnia 23 marca 1994 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstwa Państw Członkowskich, dotyczącego urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem, wprowadzona Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 22 grudnia 2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem (Dz. U. nr 263, poz. 2203),
- Dyrektywa 97/23/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dnia 29 maja 1997 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstwa Państw Członkow-

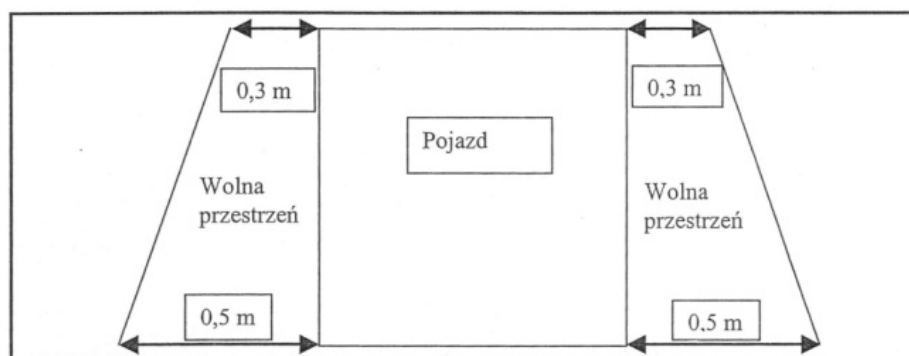
skich dotyczącego urządzeń ciśnieniowych, wprowadzona Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 21 grudnia 2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń ciśnieniowych i zespołów ciśnieniowych (Dz. U. nr 263, poz. 2200),

- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 19 sierpnia 2005 r. w sprawie szczegółowych wymagań dla silników spalinowych w zakresie ograniczenia emisji zanieczyszczeń gazowych i cząstek stałych przez te silniki (Dz. U. nr 202, poz. 1681).
- Normy PN, PN-EN, materiałowe i przedmiotowe dotyczące części zastosowanych do budowy kolejki.

Zawarte w aktach normatywnych wymagania bezpieczeństwa użytkownika środków transportu w podziemiach kopalń wymusiły na producentach ciągników oraz ich użytkownikach ograniczenie prędkości przewozu ludzi środkami transportu linowego i z napędem własnym do 2 m/s, natomiast na użytkownikach – wykonanie i utrzymanie wyrobisk oraz zabudowy układów transportowych w sposób gwarantujący zachowanie gabarytów ruchowych [1, 2, 20, 21].

2.2. Stan prawny w Niemczech – wytyczne Okręgowego Urzędu Arnsberg

Z przepisów zawartych w wytycznych Okręgowego Urzędu Arnsberg [18] dla podwieszanej kolejki (KSP) z napędem akumulatorowym oraz spalinowym w zakładach podziemnych kopalń węgla kamiennego z 14. 12. 2005 r. (wytyczne dla jednoszynowej podwieszanej kolejki) wynika, że prędkość przewozu środkami transportu linowego i z napędem własnym nie może przekroczyć 3,0 m/s. Natomiast zwiększenie prędkości jazdy ciągników i kolejek powyżej 2,0 m/s wymusza poszerzenie skrajni do wielkości gabarytów przedstawionych na rys. 3. [18].



Rys. 3. Profil przestrzeni dla prędkości jazdy > 2,0 m/s [18]

2.3. Stan prawny w Chinach – dokumenty normatywne Górniczej Normy Branżowej Chińskiej Republiki Ludowej

Stan bezpieczeństwa urządzeń transportowych w górnictwie węglowym oparto o „Dokumenty nor-

matywne Górniczej Normy Branżowej Chińskiej Republiki Ludowej” (wydane 08. 12. 2000 r.) [6]. Z dokumentów tych wynika, że prędkość jazdy zestawem kolejek spalinowych podwieszonych powinna być mniejsza niż 3,0 m/s (tab. 3).

Tabela 3.

Parametry transportu kolejkami podwieszonymi z napędem własnym [6]

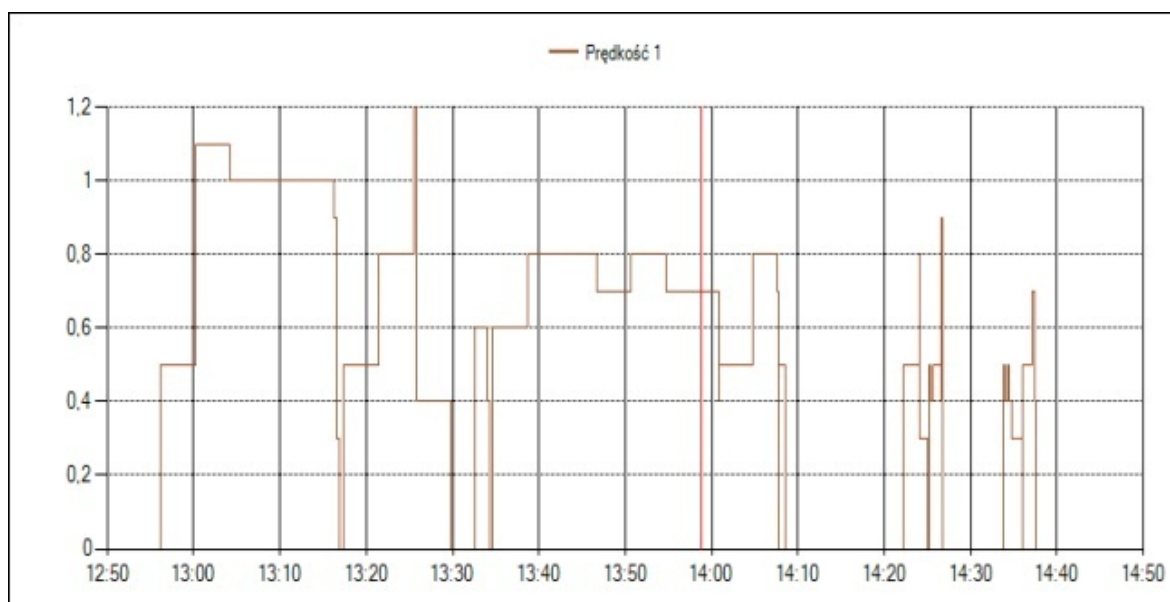
Maksymalna siła uciągu [kN]	15	30	60	90	120	160
Maksymalna prędkość [m/s]	≤3					
Nachylenie [°]	≤25					
Typ szyny	I 140 E					
Promień skrętu [m]	w płaszczyźnie pionowej	8				
	w płaszczyźnie poziomej	4				
Norma dla szyny	I 140 E DIN 20593					

3. IDENTYFIKACJA I MONITOROWANIE PARAMETRÓW PRACY CIĄGNIKÓW KOLEJEK PODWIESZONYCH

Górnice ciągniki podwieszane spalinowe z napędem własnym, wyposażone w rejestratory parametrów pracy zabudowane w zasilaczu układu sterowania i diagnostyki, mogą służyć do weryfikacji pracy maszyn. Dane zarejestrowane i zgromadzone na karcie pamięci lub transmitowane do wskazanego odbiorcy umożliwiają analizę wartości ciśnienia, temperatury, prędkości jazdy, prędkości obrotowej silnika oraz stanów awaryjnych, jak również usterek ciągnika. Pozwalają one w dalszej kolejności na ocenę

funkcji sterowności maszyną. W celu zrealizowania przesyłu danych np. w określonym paśmie częstotliwości konieczny jest dobór odpowiedniego układu transmisji danych. Sygnały generowane w systemie sterowania ciągnika spalinowego mogą być wizualizowane np. w dyspozytorni. Ciągnik spalinowy w zależności od struktury łączności użytkownika może być opcjonalnie wyposażony w urządzenia służące do przesyłania parametrów pracy ciągnika poprzez modemy UHF, VHF, Wi-Fi i stację dokującą.

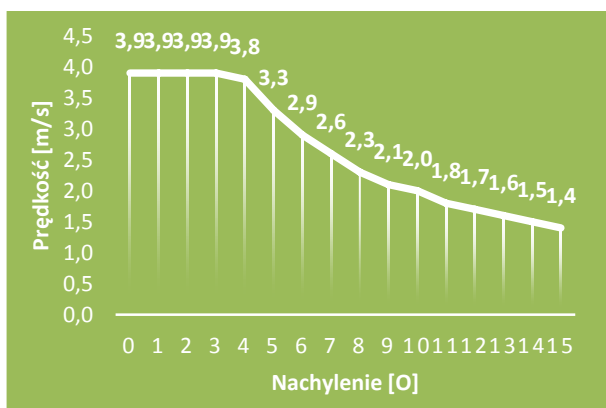
W publikacji [20, 21] przedstawiono analizę prędkości przewozu osób. Prędkość przewozu osób najczęściej mieściła się w przedziale od 1,1 do 1,5 m/s. Na rys. 4. przedstawiono przykładowy wykres zmienności prędkości przewozu osób w kopalni.



Rys. 4. Prędkość przewozu osób zarejestrowana w kopalni

4. MOŻLIWOŚCI TECHNICZNE ZWIĘKSZENIA PRĘDKOŚCI PRZEWOZU OSÓB KOLEJKAMI PODWIESZONYMI

Ciągniki podwieszane typu KP (np. 95, 148) są samobieżnymi maszynami z napędem spalinowym do transportu materiałów lub przewozu ludzi [7, 8]. Posiadają one modułową budowę umożliwiającą dostosowanie jej konfiguracji do systemów prowadzenia transportu. Ciągniki podwieszane typu KP mogą być zabudowane, w zależności od warunków górniczo-geologicznych czy konstrukcji napędów, w trzech wersjach: KPCS – ciągniki wyposażone w napędy cierne, KPZS – ciągniki wyposażone w napędy zębate typu HZA oraz KPCZ – ciągniki wyposażone w napędy cierne i zębate. Jednostki napędowe ciągnika zasilane są z agregatu spalinowo-hydraulicznego o budowie przeciwwybuchowej o mocach 95 lub 148 kW. Znamionowa siła uciągu dla poszczególnych typów napędów wynosi 20 kN (dla pojedynczego napędu ciernego) oraz 30 kN (dla pojedynczego napędu zębatego) [7, 8]. Zwiększające się masy do przetransportowania powodują, że wartość siły uciągu kolejek podwieszonych systematycznie wzrasta. Wynika to między innymi z wartości obciążenia złącza szynowego siłą wzdłużną [9, 10, 11]. Podstawowymi parametrami napędu typu KPCS-148 są: moc silnika spalinowego wynosząca 148 kW oraz znamionowa siła uciągu 4 napędów ciernych wynosząca 80 kN. Przeprowadzone obliczenia sprawdzające możliwość przewozu osób ośmioma kabinami ośmioosobowymi i dwoma wozami napędowymi o sile uciągu 40 kN o masie 9520 kg (masie całkowitej 18020 kg), przedstawione na rys. 4. [1, 2, 20, 21], wykazały, że istnieje techniczna możliwość osiągnięcia prędkości jazdy ciągników z napędem własnym 3,9 m/s. Przy nachyleniach trasy transportu powyżej 10° prędkość może wynosić do 2,0 m/s (rys. 5).



Rys. 5. Prędkość jazdy transportu z napędem własnym w funkcji nachylenia trasy [1, 2, 20, 21]

Z przeprowadzonej analizy technicznej ciągników w zakresie prędkości przejazdu wynika, że istnieje możliwość zwiększenia prędkości przewozu ludzi środkami transportu z napędem własnym.

5. WPŁYW ŚRODKA TRANSPORTU NA TRASĘ PODWIESZONĄ I JEGO UŻYTKOWNIKÓW

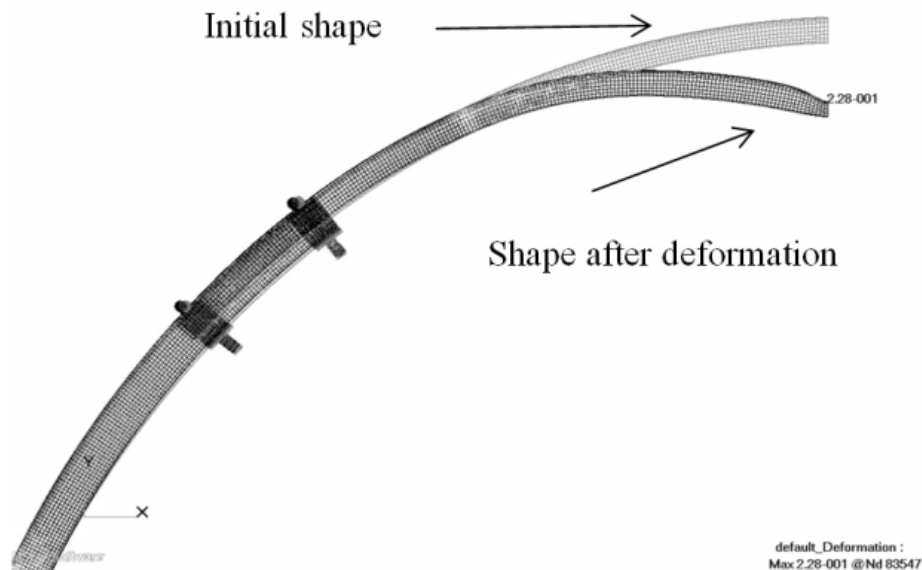
W podziemnych zakładach górniczych środki służące do przewozu ludzi i transportu materiałów w wyrobiskach poziomych i pochyłych o nachyleniu do 45° powinny być wyposażone w urządzenia awaryjnego hamowania, zgodne z wymogami zawartymi w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki [4]. Oprócz występujących w ciągnikach układów napędowo-hamulcowych kolejkę podwieszoną wyposaża się w wózki hamulcowe, które dodatkowo zabezpieczają przewożoną załogę. Najczęściej montowane są one przed i za kabinami do przewozu osób. Po przekroczeniu nastaw prędkości zadziałanie układów hamulcowych odbywa się automatycznie, tj.:

- układy hamulcowe ciągnika:
 - czujniki indukcyjne – 2,5-2,6 m/s,
 - mechaniczne odśrodkowe wyzwalacze prędkości obrotowej – 2,7-2,8 m/s
- wózki hamulcowe lub układy wózków hamulcowych – 3,0±0,2 m/s.

Każde awaryjne zadziałanie układu hamulcowego ma charakter gwałtowny, co skutkuje wystąpieniem przeciążeń dynamicznych oddziałujących zarówno na trasę podwieszoną, jak i na odrzwia górniczej obudowy podatnej, która jest powszechnie stosowana w wyrobiskach korytarzowych kopalń węgla kamiennego w Polsce. W Załączniku nr 4 „Szczegółowe zasady prowadzenia ruchu w wyrobiskach” do rozporządzenia [4] zamieszczono ograniczenie wartości obciążenia łuków obudowy, wynoszące 40 kN. Obciążenie to jest niezmiennie od wielu lat, mimo iż tym czasie zmieniły się zarówno realia związane z prowadzeniem podziemnego transportu podwieszono, jak i parametry obudów chodnikowych. Są one skutkiem nowych rozwiązań technicznych i materiałowych. Jednocześnie na przestrzeni ostatnich lat ma miejsce zwiększanie rozmiaru odrzwi, jak i pola przekroju poprzecznego profili kształtowników obudowy podatnej. Dawniej do zabudowy wyrobisk korytarzowych stosowano obudowę stalową łukową podatną o profilu KS, KO18 lub KO21. W latach 80. ubiegłego wieku wyrobiska transportowe i chodniki przyścianowe wykonane były w obudowie o rozmiarze odrzwi 7, natomiast w chwili obecnej gabaryty wyrobisk do prowadzenia transportu są zdecydowa-

nie większe i wykonywane są w rozmiarze odrzwi 9, 10 lub większym. Wraz z upływem czasu oraz ze względu na zwiększające się wymagania odnośnie do przetransportowania jak największej liczby ładunków zwiększano przekrój poprzeczny wyrobisk transportowych. Wymagało to również zwiększenia wielkości profilu poprzecznego kształtowników, z których wykonane są łuki obudowy chodnikowej. Z przeprowadzonych w Głównym Instytucie Górnictwa badań

stanowiskowych wynika, że nośność obudów łukowych (w stanie usztywnionym) dla profili V29 i większych przekracza 800 kN [13]. Z kolei z przeprowadzone w Instytucie KOMAG badania symulacyjne dowodzą, że model obliczeniowy MES pojedynczego łuku obudowy chodnikowej w stanie podatnym traci stateczność przy obciążeniu ok. 300 [kN]. Widok deformacji łuku obudowy przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Odkształcenie odrzwi obudowy łukowej na skutek obciążenia skupionego o wartości 300 kN [16]

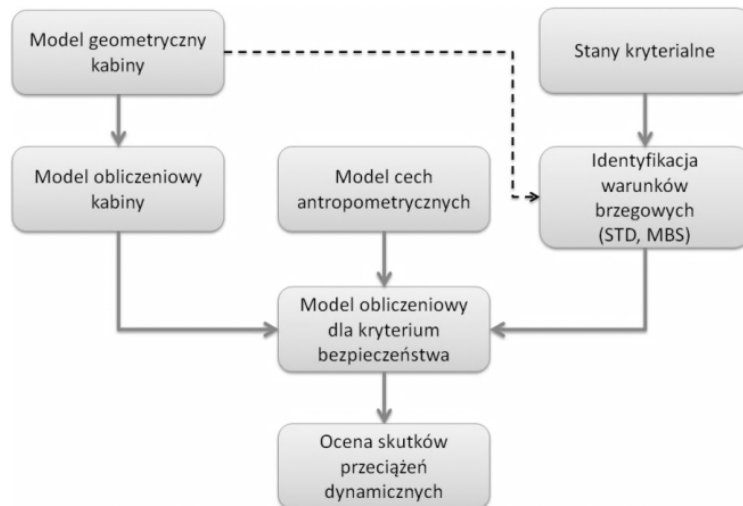
Ponadto z przeprowadzonych symulacji numerycznych MBS (ang. *Multi-Body System*) wynika, że obciążenie na jedno zawiesie wywołwane przez zestaw transportowy, w normalnych warunkach przybierające wartość 50 kN, w sytuacji awaryjnego hamowania maksymalne wzrasta o około 50%. Wzrost ten jest zależny od sposobu zabudowy i stabilizacji trasy podwieszanej.

Zwiększenie prędkości jazdy ludzi kolejkami podwieszonymi staje się jednym z elementów zwiększenia czasu dyspozycyjnego pracującej załogi, który ulega skracaniu ze względu na wydłużającą się drogę dojazdu do stanowiska pracy.

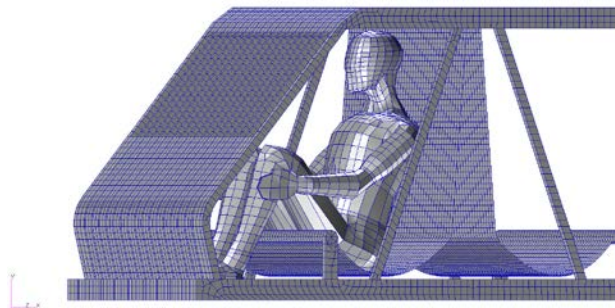
Wymaga to prowadzenia badań, zarówno symulacyjnych, jak i doświadczalnych, których celem jest ocena wpływu awaryjnego hamowania na przewożoną załogę. Możliwe jest obliczenie na podstawie symulacji komputerowych wielkości przemieszczeń względnych człowiek-maszyna i ich oddziaływania na człowieka. W tym celu stosuje się tzw. rozszerzone modele kryterialne, zawierające model cech

metrycznych maszyny i model cech antropometrycznych. Rozszerzone modele kryterialne umożliwiają ocenę bezpieczeństwa operatorów i załogi podczas użytkowania środka transportu. W szczególności dotyczy to stanów awaryjnych, którym mogą towarzyszyć przeciążenia dynamiczne. W tym celu konieczne jest połączenie metody MBS i metody elementów skończonych (MES), zgodnie z przedstawionym algorytmem (rys. 7).

Wyznaczone przebiegi przyspieszenia za pomocą metody MBS stanowią warunek brzegowy w modelach obliczeniowych stosowanych w MES. Modele obliczeniowe kabin operatorów lub kabin do przewożenia osób uzupełnia się o wirtualne odpowiedniki manekinów typu HYBRID III [3]. W ten sposób tworzą one system antropotechniczny [17]. Przykład systemu antropotechnicznego, w skład którego wchodzi model cech antropometrycznych o wielkości 50 centyli, umieszczony w kabinie do przewożenia osób, przedstawiono na rys. 8.



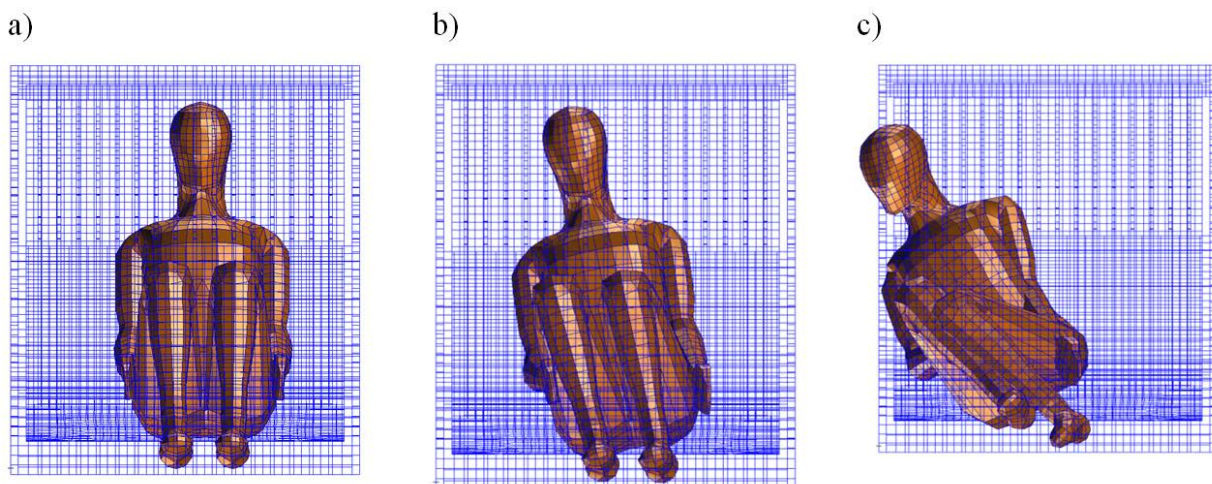
Rys. 7. Algorytm prowadzenia identyfikacji skutków przeciążeń dynamicznych [15]



Rys. 8. Wirtualny odpowiednik manekina typu Hybrid III umieszczony w kabinie do przewozu osób kolejką podwieszoną [15]

Symulacje numeryczne umożliwiają ocenę bezpieczeństwa użytkownika środka transportu w stanach krytycznych, które mogą spowodować urazy użytkowników tych środków, a których nie można przeprowadzić w warunkach rzeczywistych, np.: nagle zahamowanie lub przyspieszenie, wykoleje-

nie, zderzenie czy jazda na zakręcie z niedopuszczalną prędkością. Przykładowo na rys. 9. przedstawiono wynik symulacji przewozu kabiną osobową na zakręcie o promieniu 4 m z prędkością 0,5 m/s, 2 m/s oraz 5 m/s.



Rys. 9. Zachowanie się wirtualnego modelu manekina Hybrid III podczas jazdy kabiną osobową na zakręcie: a) 0,5 m/s, b) 2 m/s, c) 5 m/s [15]

Zastosowanie rozszerzonego modelu kryterialnego jest również pomocne w ocenie wyposażenia kabin w systemy bezpieczeństwa biernego, np. bezwładnościowe pasy bezpieczeństwa, a także inne elementy ochronne, montowane w przestrzeni pasażerskiej kabin do przewozu osób lub kabin operatorów.

6. PODSUMOWANIE

Kolejki podwieszane są najszybciej rozwijającą się grupą środków pomocniczego transportu w polskim górnictwie węgla kamiennego. Mają one coraz większy udział w liczbie przewożonych osób. Również trasy, po których się przemieszczają, są wydłużane. Jest to trend długoterminowy, co powoduje, iż należy zintensyfikować prace nad zwiększeniem prędkości jazdy ludzi z zastosowaniem kolejek podwieszonych z napędem własnym. Obecny stan wiedzy i odpowiednie narzędzia programowe umożliwiają ocenę wpływu prędkości środka transportu na poziom bezpieczeństwa jego użytkowników (operatorów oraz przewożonej załogi) ze znacznym ograniczeniem przeprowadzania badań dołowych. Następnym etapem tej oceny będą wytyczne do projektowania systemów transportu podwieszonych, które będą umożliwiały szybszą i bezpieczną jazdę. Wymaga to współdziałania jednostek naukowych, tj. uczelni technicznych i instytutów badawczych, z producentami systemów transportowych.

Literatura

- Budniok T., Zasadni W., Kania J., Mrowiec H., Rusinek J., Szymiczek K., Chłuba G.: Możliwości zwiększenia prędkości transportu ludzi kolejkami podwieszonymi z napędem własnym. w: *Mechanizacja prac transportowych 2014*, s. 37-51, Rybnik.
- Budniok T., Zasadni W., Mrowiec H., Kania J., Rusinek J., Szymiczek K.: Analiza możliwości zwiększenia prędkości jazdy ludzi kolejkami podwieszonymi z napędem własnym, XXII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna TEMAG, 2014, s. 35-49.
- Cheng H., Rizer A.L., Obergefell A.: *Articulated total body model – Version V. User’s manual*, Air Force Research Laboratory, Dayton 1998.
- Decree of minister of Economy of 28 June 2002 on industrial safety, operational management as well as special firefighting control in underground mining plants (*Journal of laws 2002 vol. 139 item, 1169 with further alterations*).
- Dokumenty normatywne dotyczące bezpieczeństwa, dopuszczeniowej i nadzorczej działalności w przemyśle górnictwie, Federalny górniczy i przemysłowy dozór Rosji, seria 05, wydanie 12, *Bezpieczeństwo urządzeń transportowych w górnictwie węglowym*, zbiór dokumentów, Moskwa 2004.
- Dokumenty normatywne Górniczej Normy Branżowej Chińskiej Republiki Ludowej, 08. 12. 2000 r.
- Instrukcja Obsługi – DTR, Ciągnik podwieszony typu KP-95, instrukcja oryginalna, Świerklany, grudzień 2013 r. (praca niepublikowana).
- Instrukcja Obsługi – DTR, Ciągnik podwieszony typu KP-148, instrukcja oryginalna nr KP-148/12/2012, Becker-Warkop, Świerklany, grudzień 2012 (praca niepublikowana).
- Instrukcja Obsługi – DTR, Uniwersalny Tor Jezdny Typu BWTU-50/120 dla kolejek podwieszonych, instrukcja oryginalna nr BWTU 50/120, Becker-Warkop, Świerklany, wrzesień 2011 r. (praca niepublikowana).
- Koczwarą J., Kmita P.: *Bezpieczeństwo pracy w aspekcie stosowania urządzeń transportowych w podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny*, III Międzynarodowa Konferencja nt. „Bezpieczeństwo pracy urządzeń transportowych w górnictwie”, Ustroń, 2007
- Mrowiec H., Drobisz M., Raszka W.: Wózki hamulcowe oraz inne urządzenia hamowania awaryjnego w transporcie kolejkami podwieszonymi z napędem własnym w świetle obowiązujących przepisów i norm, VII Międzynarodowa Konferencja nt. „Bezpieczeństwo pracy urządzeń transportowych w górnictwie”, Ustroń, 2011
- 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 oraz z 2006 r. nr 124, poz. 863).
- Rotkegel M.: LPw Steel Arch Support – Designing and Test Results, *Journal of Sustainable Mining*, 2013, 12(1) s. 34-40
- Szczegółowe przepisy prowadzenia ruchu i gospodarki złożem w podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny i brunatny, które zostały opracowane zgodnie z Zarządzeniem nr 38 Ministra Górnictwa i Energetyki z dnia 10. 10. 1973 r.
- Tokarczyk J.: Ocena rozwiązań konstrukcyjnych górniczych środków transportu pomocniczego dla kryterium bezpieczeństwa, Instytut Górniczy KOMAG, 2014 (niepublikowany)
- Tokarczyk J., Winkler T.: Numerical simulation of dynamic impact of loads, transported by suspended monorails, on yielding arch supports. *Coal International*, 2013, 5, s. 47-51.
- Winkler T.: Komputerowo wspomaganie projektowanie systemów antropotechnicznych, WNT, Warszawa, 2005.
- Wytyczne Okręgowego Urzędu Arnsberg, Dział Górnictwo i Energia w NRW, dla podwieszonych kolejek (KSP) z napędem akumulatorowym oraz spalinowym w zakładach podziemnych kopalń węgla kamiennego z 14.12.2005 (wytyczne dla jednoszynowej podwieszonych kolejek).
- Wytyczne stosowania kolejek podwieszonych, Ministerstwo Górnictwa Departament Górniczy, Katowice, listopad 1978 r.
- Zasadni W., Kania J., Rusinek J.: Rozwój systemu transportu kolejkami podwieszonymi z napędem własnym a możliwości jego wykorzystania, 15. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna KOMTECH, 2014, s. 101-112.
- Zasadni W., Kania J., Tokarczyk J., Rusinek J., Szymiczek K.: Możliwości zwiększenia prędkości jazdy ludzi kolejkami podwieszonymi z napędem własnym, XVII Konferencja nt. „Problemy Bezpieczeństwa i Ochrony Zdrowia w Polskim Górnictwie”, 2015, s. 1-10

JAROSŁAW TOKARCZYK
JAN KANIA, PhD Eng.