

MOCZARSKI Jarosław¹

PROCES ROZRZĄDZANIA JAKO SEKWENCJA ZMIAN STANÓW DYNAMICZNYCH ODPRZĘGÓW

Energia kinetyczna odprzegów zmienia się pod wpływem oddziaływań naturalnych oraz celowych działań człowieka. Rozpędzanie i hamowanie odprzegu powoduje zmiany jego stanu dynamicznego. Efektywność regulacji prędkości zależy od dokładności prognozowania zmian stanu dynamicznego odprzegu. Czynnikiem zakłócającym proces regulacji są ingerencje operatora w pracę systemu. Nowe, w pełni zautomatyzowane systemy regulacji prędkości powinny umożliwiać quasi ciągłą ocenę stanu dynamicznego odprzegów i efektywny odbiór energii, a także eliminować udział człowieka w realizacji procesu regulacji.

MARSHALLING PROCESS AS A SEQUENCE OF CHANGES OF WAGONS DYNAMIC STATES

The kinetic energy of marshalled wagons changes influenced by natural interactions and purposeful human actions. Marshalled wagons acceleration and braking causes changes in its dynamic state. Effectiveness of speed regulation depends on the accuracy prediction of changes in the dynamic state of marshalled wagons. Factor disrupting the process of regulation are operator interventions in the work of the system. The new, fully automated speed control systems should allow quasi-continuous evaluation of the marshalled wagons dynamic state and efficient energy absorption, and also should eliminate human participation in the process of regulation.

1. WSTĘP

Jedną z istotnych faz realizowanego na stacji rozrządowej lub manewrowej przetwarzania pociągów jest proces rozrządzania wagonów. W zależności od wyposażenia stacji, rozrządzanie może być realizowane w różny sposób. Na stacjach wyposażonych w górki rozrządowe, odprzeg porusza się w wyniku zamiany energii potencjalnej na energię kinetyczną. Dla bezpiecznego przemieszczenia odprzegu do miejsca przeznaczenia na torze kierunkowym niezbędna jest kontrola oraz odpowiednia regulacja jego prędkości. Do tego celu służą automatyczne systemy regulacji prędkości, których elementem są urządzenia hamulcowe zmniejszające energię kinetyczną toczących się wagonów.

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, tel.: 022 234 75 96;
Instytut Kolejnictwa, ul. Chłopickiego 50, 04-275 Warszawa, tel.: 022 47 31 082, e-mail: jmoczarSKI@ikolej.pl

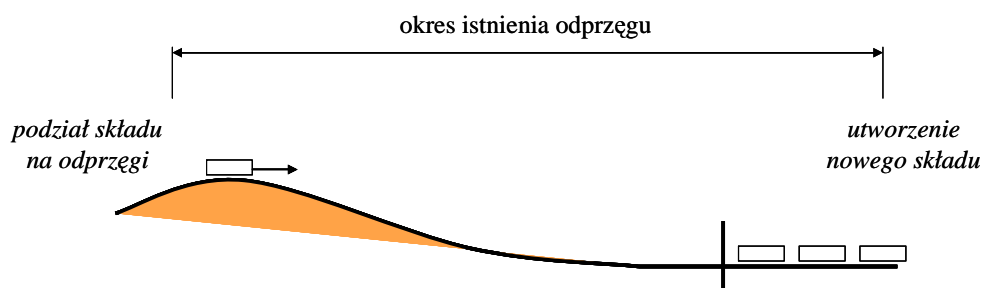
Energia kinetyczna odprzegu zmienia się nie tylko pod wpływem siły ciężenia. Istotny wpływ na ruch odprzegu mają oddziaływania zewnętrzne (np. czynniki atmosferyczne), stan infrastruktury stacyjnej, a także celowe działania podejmowane przez człowieka.

Efektywność regulacji prędkości zależy zatem nie tylko od liczby punktów celowego oddziaływania na toczące się odprzugi (liczby urządzeń hamulcowych) ale także od umiejętności oceny skali oddziaływania czynników zakłócających ruch odprzegu oraz przewidywania skutków tych oddziaływań. Należy zwrócić uwagę na fakt, że często istotnym czynnikiem zakłócającym proces rozrządzenia są działania człowieka.

Poprawa bezpieczeństwa staczenia odprzegów z górki rozrządowej oraz dokładności ich pozycjonowania na torach kierunkowych wymaga wprowadzania nowych, innowacyjnych rozwiązań w zakresie metod regulacji prędkości, w tym w pełni zautomatyzowanych systemów sterowania rozrządaniem, eliminujących udział człowieka w tym procesie.

2. ZMIANA STANU DYNAMICZNEGO ODPRZĘGU

Każdy odprzeg O , jako samodzielny obiekt, istnieje od momentu rozpięcia składu podczas napychania na górkę rozrządową do chwili utworzenia nowego składu w torze kierunkowym. Zgodnie ze strukturalną metodą modelowania procesów z wykorzystaniem narzędzi CASE (Computer-Aided Systems Engineering), odprzeg może być traktowany jako *encja* (obiekt, o którym informacje powinny być znane i przechowywane w odpowiednim czasie) [2]. Każda encja ma swój cykl życia, w trakcie którego jest poddawana różnym oddziaływaniom. Wśród nich można wyróżnić działania, które muszą być podejmowane w systemie (na stacji rozrządowej lub manewrowej) aby można było osiągnąć zamierzone cele. Stanowią one podstawowe składniki realizowanych procesów.



Rys.1. Okres istnienia odprzegu na stacji rozrządowej

Efektywne sterowanie procesem rozrządzenia odprzegów wymaga umiejętnej regulacji ich prędkości w różnych punktach drogi staczenia. Celem hamowania na początku strefy podziałowej jest umożliwienie przestawiania zwrotnic między toczącymi się odprzegami oraz regulacja prędkości wjazdu na tory kierunkowe. Regulacja prędkości w torach kierunkowych służy bezpiecznemu doprowadzeniu odprzegu do punktu celu.

Odprzeg, podobnie jak każdą encję można opisać zbiorem odpowiednio dobranych atrybutów. Realizacja procesu rozrządzenia powoduje zmianę wartości atrybutów i prowadzi do zmiany stanu encji (zmiany prędkości i położenia odprzegu w funkcji czasu).

Dla efektywnego zarządzania dowolnym procesem każda uczestnicząca w nim encja powinna generować informacje o zmieniających się wartościach atrybutów (o swoim stanie).

W przypadku encji typu O (odpręg) można wyróżnić atrybuty o wartościach stałych, nie ulegających zmianie w procesie rozrządzenia oraz zbiór atrybutów zmiennych. Atrybuty o wartościach stałych nazwiemy *parametrami* odpręgu. Zbiór atrybutów zmiennych opisze *stan dynamiczny* odpręgu.

Do *parametrów* odpręgu można zaliczyć jego masę, długość, liczbę osi, rodzaj wagonów tworzących odpręg (typ wagonu i jego masa), numer toru kierunkowego, na który odpręg jest staczany, a także strukturę odpręgu - parametr określający kolejność wagonów poszczególnych rodzajów w opisywanym odpręgu.

Stan dynamiczny odpręgu opiszemy wykorzystując zbiór cech stanu takich jak prędkość i położenie na drodze staczania. Obydwie cechy stanu zmieniają swoje wartości w funkcji czasu. Zapiszemy stan dynamiczny D odpręgu O w chwili t :

$$D^O(t) \equiv \langle v(t), s(t) \rangle$$

jako parę cech określających prędkość $v(t)$ odpręgu w chwili t oraz jego położenie $s(t)$.

W trakcie przemieszczania odpręg jest poddawany oddziaływaniu różnych czynników (zwykle zmiennych w czasie), które powodują zmianę prędkości staczania. Wśród oddziaływań naturalnych można wyróżnić oddziaływania zewnętrzne, pochodzące z otoczenia, oraz oddziaływania wewnętrzne, zależne od budowy wagonów tworzących odpręg i jego struktury. Oddziaływania zewnętrzne są powodowane:

- oporami toczenia kół po szynach,
- pochyleniem torów,
- oporami ruchu na łukach torów,
- oporami ruchu na rozjazdach,
- zderzeniami odpręgów,
- oddziaływaniem czynników atmosferycznych (zmiany temperatury, deszcz, śnieg, wiatr).

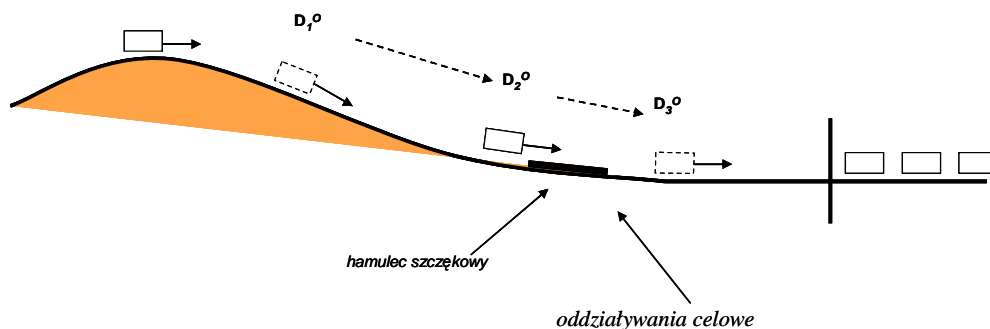
Źródłem podstawowych oddziaływań wewnętrznych, zależnych od konstrukcji i stanu technicznego wagonów tworzących odpręg są: opór aerodynamiczny (zależny od kształtu i wielkości powierzchni bocznych oraz czołowych wagonów) oraz opory toczone w łożyskach wagonów. W niektórych przypadkach istotną rolę odgrywa rodzaj przewożonego ładunku.

Oddziaływania zewnętrzne zmieniają się co do wartości i kierunku zarówno w funkcji drogi jak też w funkcji czasu i są niejednakowe dla różnych odpręgów. Zależą od ich masy, struktury, liczby osi, długości, rodzaju i rozmieszczenia przewożonego ładunku itp.

Stan dynamiczny odpręgu ulega zmianie wraz ze zmianą jego położenia na drodze staczania. Umiejętność oceny aktualnego stanu dynamicznego odpręgu oraz przewidywania zmian tego stanu (prognozowania) są podstawą do efektywnej regulacji prędkości i bezpiecznego doprowadzenia do miejsca przeznaczenia na torze kierunkowym.

Na rysunku 2 przedstawiono zmianę stanu dynamicznego odprzegu O :

- z D_1^O na D_2^O – pod wpływem oddziaływań naturalnych,
- z D_2^O na D_3^O – pod wpływem celowego oddziaływania systemu regulacji prędkości lub człowieka (działania hamulca szczękowego).



Rys.2. Zmiana stanu dynamicznego odprzegu O pod wpływem oddziaływań naturalnych oraz celowego oddziaływania człowieka w procesie regulacji prędkości

Proces regulacji prędkości odprzegu jest ukierunkowany na celowe zmiany stanu dynamicznego tak, aby zapewnić bezpieczny dojazd na wskazany w karcie rozrządowej tor kierunkowy. Proces rozrządzenia odprzegów na stacji rozrządowej można zatem przedstawić jako sekwencję zmian ich stanów dynamicznych.

3. EFEKTYWNOŚĆ REGULACJI PRĘDKOŚCI ODPRZEGÓW W RÓŻNYCH METODACH ROZRZĄDZANIA GRAWITACYJNEGO

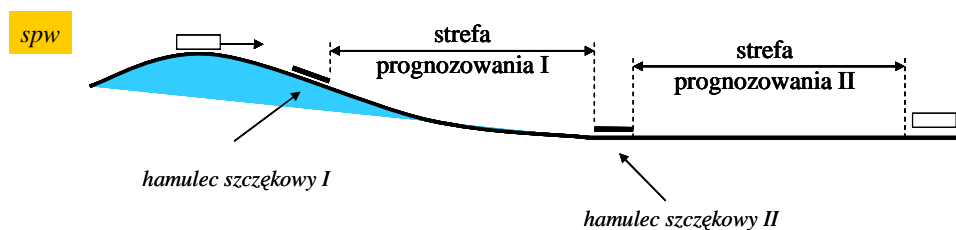
Oczekiwany na wyjściu z hamulca stan dynamiczny odprzegu jest warunkowany:

- sytuacją ruchową na drodze staczania odprzegu (przed i za odprzegiem),
- odległością do punktu celu na torze kierunkowym,
- przewidywanym oddziaływaniem czynników naturalnych na poruszające się odprzegi,
- położeniem poruszających się odprzegów względem istotnych elementów infrastruktury stacji rozrządowej.

Efektywna regulacja prędkości wymaga więc znajomości stanów dynamicznych odprzegów w kolejnych okresach czasu oraz umiejętności prognozowania zmian tych stanów pod wpływem oddziaływań naturalnych i celowych.

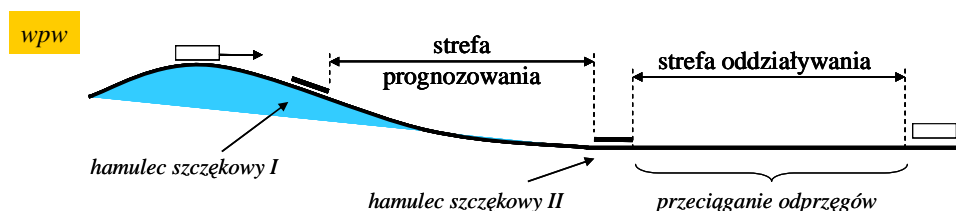
Rozrządanie metodą *spw* wymaga prognozowania zmian stanu dynamicznego odprzegu w dwóch strefach (rys. 3) o znacznej długości.

Prognozowanie jest zwykle obciążone dużym błędem (szczególnie podczas intensywnego oddziaływania czynników atmosferycznych) i powoduje dopędzanie się odprzegów oraz ich niedokładne pozycjonowanie w torach kierunkowych.



Rys.3. Regulacja prędkości odpręgów w metodzie „strzał do celu”

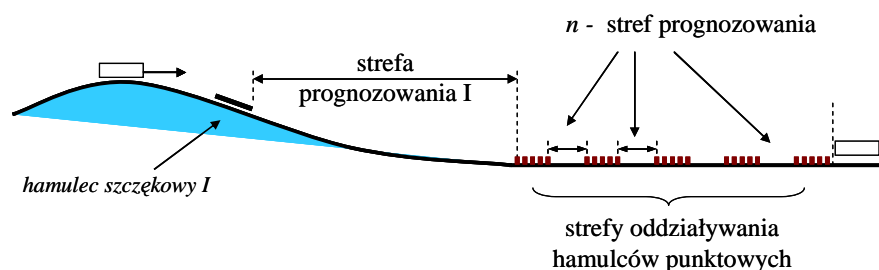
W metodzie *wpw* występuje jedna strefa prognozowania, obejmująca praktycznie strefę podziałową stacji (rys. 4).



Rys.4. Regulacja prędkości odpręgów w metodzie przemieszczania wymuszonego

Przy dużej intensywności rozrządzenia może dochodzić do dopędzania się odpręgów w tym obszarze. Należy jednak zwrócić uwagę, że ze względu na znaczną energię odpręgów w tej strefie oraz ich zatrzymywanie za hamulcem II, podstawowym czynnikiem zakłócającym przebieg procesu rozrządzenia jest różnica mas poszczególnych odpręgów. W torach kierunkowych odpręgi są przemieszczane do miejsca przeznaczenia z wykorzystaniem przeciągarek.

hamulec szeregowy + hamulce punktowe



Rys.5. Regulacja prędkości odpręgów z wykorzystaniem systemu SARPO

Wdrożone na stacji rozrządowej Poznań Franowo rozwiązanie (rys. 5) wykorzystujące hamulce szcękowe na I pozycji hamowania oraz hamulce punktowe w torach kierunkowych (system SARPO) pozwoliło w znaczący sposób poprawić (w stosunku do systemu *spw*) efektywność przemieszczania i pozycjonowania odpręgów w torach kierunkowych [3,5].

Zakłócenia procesu rozrządzania występujące w I strefie prognozowania w dalszym ciągu wymagają nadzoru operatora.

4. AUTOMATYCZNY SYSTEM REGULACJI PRĘDKOŚCI ODPRĘGÓW

W systemie, w którym jest realizowany procesie rozrządzania odpręgów można wyróżnić dwa podstawowe podsystemy: sterowany, którego elementy są przedmiotem regulacji oraz sterujący, który umożliwia celowe oddziaływanie na elementy systemu sterowanego. Zbiór możliwych stanów każdego systemu określa jego cechę zwaną różnorodnością systemu. Prawo koniecznej różnorodności wymaga [1] aby różnorodność systemu sterującego nie była niższa niż systemu sterowanego. Jest to warunek konieczny dla efektywnego sterowania procesem rozrządzania (w tym regulacji prędkości odpręgów).

W procesie rozrządzania odpręgów, do elementów systemu sterowanego należą:

- odpręgi,
- tory, rozjazdy (napędy zwrotnicowe),
- hamulce torowe.

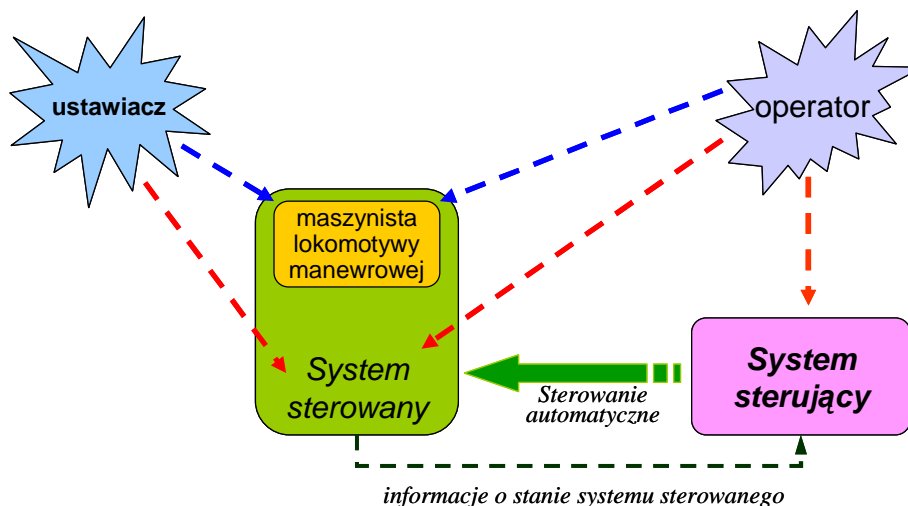
Różnorodność systemu sterowanego zwiększa starszy ustawiacz, maszynista lokomotywy oraz operator nastawni rozrządowej.

Wśród podstawowych elementów systemu sterującego (systemu regulacji prędkości) można wskazać:

- urządzenia i systemy kontrolno-pomiarowe,
- systemy sterowania hamulcami torowymi,
- systemy sterowania napędami zwrotnicowymi,
- tarcze manewrowe.

Różnorodność systemu sterującego zwiększa, podobnie jak w przypadku systemu sterowanego, operator nastawni rozrządowej.

Jeżeli człowiek, który jest elementem systemu sterowanego (np. starszy ustawiacz), wpływa na przebieg procesu rozrządzania, automatyczny system sterujący nie jest w stanie w krótkim czasie identyfikować zmian (zakłóceń) wprowadzanych przez człowieka oraz efektywnie prognozować ich następstwa. Różnorodność systemu sterowanego jest bowiem większa niż systemu sterującego. W takim przypadku niezbędne staje się wprowadzenie człowieka (operatora) jako elementu systemu sterującego, co zwiększa różnorodność tego systemu. Takie rozwiązanie sprawia, że zaawansowany technicznie automatyczny system sterujący staje się systemem z elementami sterowania ręcznego, a operator ingerując w pracę automatycznego systemu sterującego powoduje zakłócenia w jego funkcjonowaniu (rys. 6).



Rys.6. Ingerencje pracowników stacji w proces rozrządzenia

Doświadczenia zebrane w trakcie eksploatacji systemów asr wskazują [4], że w wielu przypadkach ingerencje pracowników stacji w proces rozrządzenia są niezgodne z obowiązującymi założeniami dla tych systemów lub wynikają z subiektywnej oceny sytuacji ruchowej na stacji. Takie działania wprowadzają dodatkowe zakłócenia do pracy systemu sterującego i obniżają efektywność jego funkcjonowania.

Dla eliminacji zakłóceń wprowadzanych przez człowieka oraz skutecznego reagowania na oddziaływanie zmiennych czynników naturalnych niezbędne jest doskonalenie systemu sterującego oraz wprowadzenie w pełni zautomatyzowanych (bez udziału człowieka) systemów regulacji prędkości. Takie rozwiązanie wymaga ciągłego dostępu do informacji o rzeczywistych potrzebach w zakresie oddziaływania celowego na odprężę (hamowania).

Wdrożenie systemów w pełni automatycznych można realizować jedną z trzech metod:

1. przy zachowaniu aktualnego wyposażeni stacji w hamulce torowe należy doskonalić metody prognozowania zmian stanu dynamicznego odpręgów,
2. wprowadzić większą liczbę stref prognozowania o niewielkiej długości,
3. zwiększyć liczbę punktów pomiaru prędkości odpręgów na drodze staczania (punktów oceny ich stanu dynamicznego).

Pierwsza metoda wymaga dokładnej oceny wartości czynników wpływających na ruch odpręgu w różnych punktach drogi staczania i może być trudna w praktycznej realizacji. W drugim przypadku także jest wymagana obserwacja wpływu czynników zakłócających jednak nie są niezbędne metody prognozowania o dużej dokładności. Metoda trzecia zakłada wprowadzenie quasi ciągłej oceny stanu dynamicznego odpręgu. Zarówno w drugim jak i trzecim przypadku niezbędne jest zastosowanie większej liczby pozycji hamowania.

5. PODSUMOWANIE

Poprawa efektywności i bezpieczeństwa procesu rozrządzenia wymaga prowadzenia działalności innowacyjnej i wdrażania nowych rozwiązań. Celem nadrzędnym powinno być wprowadzanie w pełni zautomatyzowanych systemów regulacji prędkości co pozwoli na wyeliminowanie udziału człowieka zarówno w systemie sterowanym jak i sterującym.

Dotychczasowe doświadczenia oraz wyniki eksploatacji systemu SARPO na stacji rozrządowej Poznań Franowo wskazują, że pełną automatyzację procesu regulacji prędkości można osiągnąć:

- wyposażając tory kierunkowe stacji rozrządowej w hamulce punktowe (np. system SARPO),
- w przypadku pozostawienia hamulców szcękowych typu ETH na I pozycji hamowania należy doposażyć strefę podziałową stacji w dodatkowe sekcje hamulców punktowych,
- w przypadku rezygnacji z hamulców szcękowych, drogę staczenia od szczytu góry do początku torów kierunkowych należy wyposażać w hamulce punktowe,
- na całej drodze staczenia odpręgów należy zabudować quasi ciągły system oceny zmian stanu dynamicznego odpręgów.

Oddziaływanie celowe na odpręgi (regulacja prędkości) powinno się odbywać na podstawie rzeczywistych potrzeb – wyników oceny stanu dynamicznego.

Wdrażanie innowacyjnych rozwiązań wymaga intensyfikacji prac rozwojowych oraz realizacji nowych projektów badawczych.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Ashby W.R.: *Self-regulation and Requisite Variety*. W: *Systems Thinking*, ed. F. Emery, Harmoudsworth, 1976
- [2] Barker R., Longman C.: *Modelowanie funkcji i procesów*. Warszawa, WNT 2001
- [3] Moczarski J.: *Infrastruktura techniczna w regulacji prędkości odpręgów na stacjach rozrządowych*. Transport i Komunikacja nr 6/2010
- [4] Moczarski J., Loryński W.: *Raport z prób eksploatacyjnych zintegrowanego systemu sterowania i kontroli TENSAR wraz z Zespołem Wizualizacyjno-Operatorskim oraz Zespołem Rejestratora*. Praca nr 3602/10. Instytut Kolejnictwa, Warszawa, lipiec 2010
- [5] *Raport końcowy z realizacji projektu celowego nr 6T12 056 2001C/5503 „Inteligentny system regulacji prędkości odpręgów z oddziaływaniem punktowym dla stacji rozrządowych, manewrowych i bocznic kolejowych”*. Warszawa-Kańczuga, maj 2005. Kierownik projektu J. Moczarski.