



Jarosław MOCZARSKI

DZIAŁANIA CELOWE W REGULACJI PRĘDKOŚCI ODPRZĘGÓW NA ZAUTOMATYZOWANYCH STACJACH ROZRZĄDOWYCH

Streszczenie

Energia kinetyczna odpręgów na stacjach rozrządowych zmienia się pod wpływem oddziaływań naturalnych oraz celowych działań człowieka. Hamowanie rozrządzanego odpręgu powoduje zmianę jego stanu dynamicznego. Efektywność regulacji prędkości zależy od dokładności prognozowania zmian stanu dynamicznego, a także możliwości oddziaływania celowego na odpręgi w różnych punktach stacji. Nowe, w pełni zautomatyzowane systemy regulacji prędkości powinny umożliwić quasi ciągłą ocenę stanu dynamicznego odpręgów oraz quasi ciągły, efektywny odbiór energii.

WSTĘP

Ruch odpręgów na stacjach wyposażonych w górki rozrządowe jest, w pierwszej fazie, wymuszany przez lokomotywę manewrową. Znajdujący się na szczycie góry odpręg dysponuje maksymalną, w procesie rozrządzania, energią potencjalną, proporcjonalną do jego masy oraz wysokości góry.

Zgodnie z przyjętą dla stacji rozrządowych w Polsce metodą swobodnego przemieszczania wagonów w procesie rozrządzania (metoda *spw*), ruch odpręgu jest efektem zamiany jego energii potencjalnej na energię kinetyczną. Początkowa energia kinetyczna odpręgu przekraczającego szczyt góry jest proporcjonalna do prędkości napychania składu przez lokomotywę. Na drodze staczenia, od szczytu góry do punktu przeznaczenia w torze kierunkowym (punktu celu), następuje stopniowe zmniejszanie energii potencjalnej powodowane pochyleniem toru. Energia kinetyczna, mimo początkowego wzrostu, także ulega stopniowemu zmniejszeniu wskutek oddziaływania czynników naturalnych (zewnętrznych - pochodzących z otoczenia oraz wewnętrznych - zależnych od parametrów odpręgu) [2], a także celowych działań człowieka.

Każdy odpręg, jako encja o krótkim czasie istnienia, może być charakteryzowany zbiorem atrybutów o wartościach stałych (parametry odpręgu) oraz atrybutów o wartościach, które ulegają zmianom w procesie rozrządzania, opisujących jego stan dynamiczny [2].

Stan dynamiczny $\mathbf{D}(t)$ odpręgu w chwili t można opisać parą cech

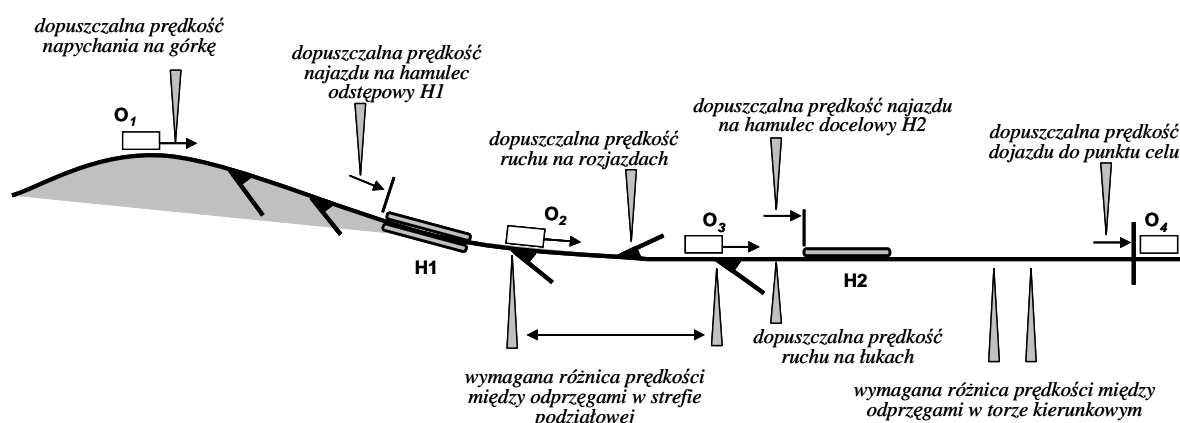
$$\mathbf{D}(t) \equiv \langle v(t), s(t) \rangle \quad (1)$$

określających jego prędkość $v(t)$ oraz położenie $s(t)$.

Analizując zmiany stanu dynamicznego odpręgów podczas rozrządzenia (metodą *spw*) należy uwzględnić fakt, iż zarówno niesterowalne oddziaływania naturalne jak też celowe działania człowieka powodują wyłącznie obniżanie energii odpręgu. Tylko w wyjątkowych przypadkach, energia odpręgów może wzrastać wskutek oddziaływania silnego wiatru.

1. ODDZIAŁYWANIE CELOWE W AUTOMATYCZNYM STEROWANIU ROZRZĄDZANIEM

Stan dynamiczny odpręgu, podobnie jak jego energia, ulega zmianie na drodze staczenia wskutek występowania oddziaływań naturalnych, a także w efekcie celowych działań człowieka. Działania celowe są powodowane występowaniem ograniczeń prędkości (rys. 1) wynikających zarówno ze zmiennej geometrii toru oraz zabudowanych elementów infrastruktury (rozjazdy, hamulce torowe) jak też zmieniającej się w czasie sytuacji ruchowej. Stąd wynika potrzeba regulacji stanu dynamicznego każdego odpręgu i celowej regulacji jego prędkości.



Rys. 1. Ograniczenia prędkości ruchu odpręgów na drodze staczenia

Źródło: opracowanie własne

Podstawowym celem działań realizowanych przez człowieka w procesie rozrządzenia jest bezpieczne i możliwie szybkie przemieszczenie odpręgu od szczytu góry do punktu celu na odpowiednim torze kierunkowym. Każdy odpręg powinien dojechać do wagonów stojących na torach kierunkowych tak, aby nie powstawały niepotrzebne luki między nimi. Jednocześnie prędkość dojazdu (prędkość zderzenia ze stojącymi wagonami) nie może być większa niż 1,5 m/s.

W systemach automatycznego rozrządzenia funkcjonujących wg metody *spw* występują trzy podstawowe możliwości oddziaływania celowego na odpręgi:

- regulacja prędkości napychania składu na górkę,
- regulacja prędkości z wykorzystaniem hamulca I pozycji (odstępowego – H1),
- regulacja prędkości z wykorzystaniem hamulca II pozycji (docelowego – H2).

Zgodnie z istniejącymi przepisami [4] dopuszcza się dwie prędkości napychania składu na górkę rozrządową:

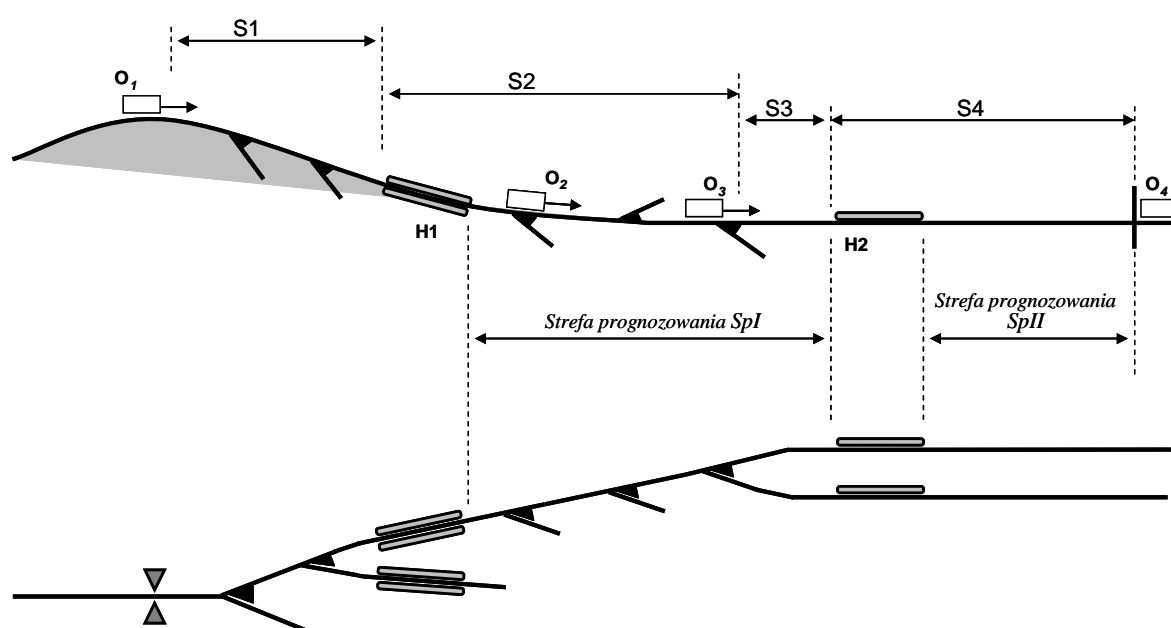
- z prędkością nie przekraczającą 3 km/godz. (określane jako „pchanie powoli” – sygnał Rt2 na tarczy rozrządowej),
- z prędkością nie przekraczającą 5 km/godz. (określane jako „pchanie z umiarkowaną prędkością” – sygnał Rt3 na tarczy rozrządowej).

Zmiana prędkości napychania pozwala regulować odstępy między toczącymi się odpręgami. W razie potrzeby, sygnał Rt1 wyświetlany na tarczy rozrządowej nakazuje przerwanie napychania na górkę i zatrzymanie składu.

Podstawowym elementem pozwalającym oddziaływać w sposób celowy na odpręgi są hamulce torowe I i II pozycji. Wymagany stan dynamiczny odpręgu na wyjściu z hamulca zależy od:

- sytuacji ruchowej na drodze staczania odpręgu,
- drogi jaką odpręg musi przejechać do punktu celu na torze kierunkowym,
- przewidywanego oddziaływania czynników naturalnych,
- położenia odpręgów względem istotnych elementów infrastruktury stacji.

Na stacji rozrządowej można wyróżnić cztery podstawowe strefy ruchu (S1 ÷ S4) oraz dwie strefy prognozowania (SpI i SpII) istotne dla regulacji stanu dynamicznego odpręgów (rys. 2).



Rys. 2. Strefy ruchu oraz strefy prognozowania istotne dla regulacji stanu dynamicznego odpręgów

Źródło: opracowanie własne

Regulując stan dynamiczny każdego odpręgu należy nie tylko uwzględnić istniejące ograniczenia oraz aktualną sytuację ruchową w poszczególnych strefach stacji, ale także prognozować ich zmiany w trakcie ruchu poszczególny odpręgów.

W szczególności, oddziaływanie na odpręgi z wykorzystaniem hamulca odstępowego H1 powinno zapewnić

- dopasowanie prędkości do ograniczeń konstrukcyjnych toru w strefach S2 i S3 (rys. 1) oraz hamulca docelowego H2 w torze kierunkowym (ewentualnie I strefy hamulców punktowych systemu SARPO),
- zachowanie odstępów między odpręgami w strefie S2, umożliwiającą przestawianie zwrotnic oraz mijanie się wagonów w ukresach,
- dojazd odpręgu do punktu celu na torze kierunkowym,
- bezpieczne zatrzymanie odpręgu w strefie S3 w przypadku gdy strefa S4 jest zajęta lub poprzedni odpręg zatrzymał się na hamulcu H2.

Celem regulacji stanu dynamicznego odpręgów na hamulcu H2 jest:

- zapewnienie dojazdu odprzęgu do punktu celu z prędkością $v \leq 1,5$ m/s,
- eliminacja niebezpiecznych lub szkodliwych zderzeń odpręgów na torze kierunkowym (zderzenia niebezpieczne, przy znacznych różnicach prędkości odpręgów mogą powodować ich uszkodzenie lub przesunięcie ładunku; zderzenia szkodliwe, z dopuszczalnymi prędkościami, mogą doprowadzić do zatrzymania odpręgów przed dojazdem do celu lub osiągnięcia tego punktu z prędkością $v > 1,5$ m/s).

Celem nadrzędnym regulacji prędkości odpręgów jest bezpieczny dojazd każdego z nich do miejsca przeznaczenia na torze kierunkowym. Osiągnięcie celu nadrzędnego wymaga realizacji szeregu działań oraz osiągania celów cząstkowych. Zróżnicowane parametry ruchu poszczególnych odpręgów, a także zmienne oddziaływania czynników naturalnych często powodują, że cele cząstkowe stają się wzajemnie sprzeczne. Sprzeczności mogą także występować między celami cząstkowymi i celem nadrzędnym.

2. INFORMACJE NIEZBĘDNE DLA EFEKTYWNEJ REALIZACJI DZIAŁAŃ CELOWYCH

Zakres celowych zmian stanu dynamicznego odprzęgu w poszczególnych punktach oddziaływania zależy od rodzaju oraz wartości występujących aktualnie ograniczeń (zarówno stałych jak i zmieniających się w sposób dynamiczny).

Zmiana prędkości napychania składu na górkę jest realizowana na podstawie informacji wyświetlanej na tarczy rozrządowej (odpowiednio sygnał: Rt1, Rt2 lub Rt3) lub poleceń przekazywanych maszyniście lokomotywy drogą radiową przez starszego ustawiacza lub nastawniczego.

W regulacji prędkości na I pozycji hamowania (hamulec H1), oprócz ograniczeń stałych są uwzględniane:

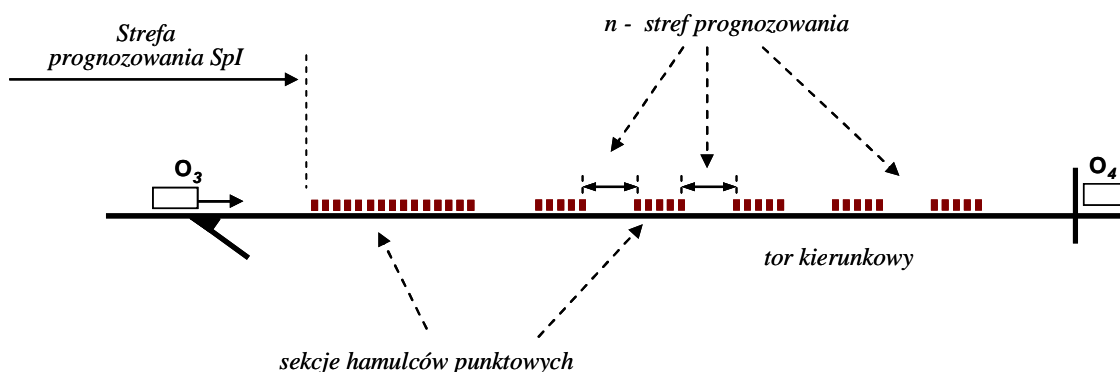
- parametry biegowe odprzęgu,
- prędkość najazdu odprzęgu na hamulec odstępowy,
- prognozowane parametry ruchu odprzęgu – poprzednika.

W przypadku sterowania półautomatycznego, nastawniczy bierze pod uwagę wynik oceny wizualnej sytuacji ruchowej przed i za hamowanym odprzęgiem.

Zastosowanie systemu TENSAR [1] rozszerzyło zakres dostępnych informacji o sytuacji ruchowej. Określone są: zajętość i położenie zwrotnic, zajętość ukresów ostatnich zwrotnic strefy podziałowej oraz zajętość odcinka przed hamulcem odstępowym. Czujniki rozmieszczone przy zwrotnicach i hamulcach pozwalają stwierdzić obecność kolejnych osi odpręgów. W systemie TENSAR zaimplementowano funkcję zmiany sygnału wyświetlanego na tarczy rozrządowej na podstawie informacji o sytuacji ruchowej w strefach S1 oraz S2.

Podstawową informacją wykorzystywaną w regulacji prędkości na II pozycji hamowania jest odległość punktu celu (wolna długość toru kierunkowego) oraz parametry ruchowe poruszających się odpręgów.

Zastosowanie systemu SARPO [1] pozwoliło zwiększyć liczbę punktów celowego oddziaływania na odprzęgi w torze kierunkowym i ułatwiło identyfikację ich położenia. Efektem wprowadzenia nowego rozwiązania jest także podział strefy prognozowania SpII na kilka stref o niewielkiej długości (rys. 3) co poprawia skuteczność przewidywania ruchu odpręgów.



Rys. 3. Strefy prognozowania ruchu odpręgów w systemie SARPO

Źródło: opracowanie własne

Wprowadzenie nowych rozwiązań znacznie poprawiło efektywność procesu sterowania rozrządaniem – szczególnie na torach kierunkowych stacji. Jednak z uwagi na zróżnicowane oddziaływanie czynników naturalnych (zewnętrznych i wewnętrznych) na poszczególne odpręgi, nadal dochodzi do zakłóceń procesu regulacji w strefach S1 oraz S2 (rys. 2). Możliwości oddziaływania celowego realizowanego w tych strefach okazują się często nieadekwatne do potrzeb.

Zmiana prędkości napychania składu na górkę jest w praktyce działaniem o niewielkiej efektywności. Z uwagi na znaczną inercję napychanego składu, a także inercję układu „nastawniczy – maszynista – lokomotywa”, jej przydatność do regulacji odstępów między odpręgami jest w sposób naturalny ograniczona. Także w przypadku polecenia wstrzymania rozrządania (wstrzymania napychania składu na górkę), często dochodzi do oderwania się od napychanego składu kolejnego odpręgu. W tej sytuacji praktycznie jedynym elementem skutecznego, celowego oddziaływania na odpręgi w tym obszarze jest hamulec odstępowy H1 zabudowany w strefie S2.

Sterowanie procesem rozrządania z wykorzystaniem tego hamulca służy realizacji różnych celów które, w określonych sytuacjach, mogą być wzajemnie sprzeczne (np. zwiększanie odległości do odpręgu – poprzednika, umożliwiające przestawianie zwrotnic w strefie S2, może jednocześnie prowadzić do zderzeń na hamulcu z kolejnymi nadjeżdżającymi odpręgami). W takich sytuacjach zwykle dochodzi do ingerencji operatora (nastawniczego) co pozwala doraźnie złagodzić skutki zaistniałego problemu ruchowego ale jednocześnie wprowadza zakłócenia do procesu automatycznego sterowania rozrządaniem.

Praktyka eksploatacyjna wskazuje, że poprawy sytuacji należy upatrywać w modyfikacji sposobu oddziaływania na odpręgi w strefach S1 oraz S2.

3. NOWE ROZWIĄZANIA DLA POPRAWY EFEKTYWNOŚCI REALIZACJI DZIAŁAŃ CELOWYCH

Wśród głównych przyczyn występowania niekorzystnych zdarzeń w procesie automatycznego rozrządania można wskazać:

- niewystarczającą dokładność prognozowania ruchu odpręgów,
- ograniczone możliwości celowego oddziaływania na odpręgi i zmiany ich stanu dynamicznego (szczególnie w strefach S1, S2 oraz S3).

Wdrożenie systemu SARPO [2,3] pozwoliło zarówno zwiększyć liczbę punktów oddziaływania na odpręgi w strefie S4 oraz znacząco skrócić strefę S3 jak też, poprzez wprowadzenie szeregu stosunkowo krótkich stref prognozowania (w miejsce dotychczasowej strefy SpII) – zwiększyć dokładność przewidywania zmian stanu dynamicznego odpręgów.

Istotnym elementem systemu są także nowe algorytmy prognozowania położenia odpręgów w strefie S4. Dalszą poprawę efektywności funkcjonowania tego systemu w obszarze torów kierunkowych można osiągnąć poprzez zwiększenie dostępu do informacji o oddziaływaniu czynników naturalnych (w szczególności informacji o sile i kierunku wiatru).

Poważniejszy problem stanowi sterowanie ruchem odpręgów w strefach S1, S2 oraz S3. Znaczne pochylenie toru w początkowym odcinku strefy S1 (ponad 40‰) a także w obszarze hamulca odstępowego H1 (ponad 13‰) wprowadzono w celu maksymalnego skrócenia czasu przejazdu odpręgu przez tę strefę. Pozwoliło to także zmniejszyć różnice w czasach przejazdu odpręgów lekkobieźnych i ciężkobieźnych. Dzięki temu możliwe było zwiększenie prędkości napychania składu na górkę i wzrost wydajności procesu rozrządzenia.

Jednocześnie jednak zwiększanie prędkości napychania powoduje zmniejszanie odległości między kolejnymi odpręgami i skraca drogę po przebyciu której odpręg lekkobieźny może dogonić odpręg ciężkobieźny.

Konstrukcja stoczni rozrządowej na zautomatyzowanych stacjach w Polsce jest dostosowana do osiągania szczytowej wydajności ok. 8 odpręgów jedno wagonowych w ciągu minuty. Wobec spadku przewozów i zmniejszenia obciążenia stacji pracą rozrządową, dla uniknięcia sytuacji konfliktowych w strefach S1 ÷ S3 stosowana jest obniżona prędkość napychania składu na górkę i osiągana praktyczna wydajność ok. 2-3 odpręgów jedno wagonowych w ciągu minuty.

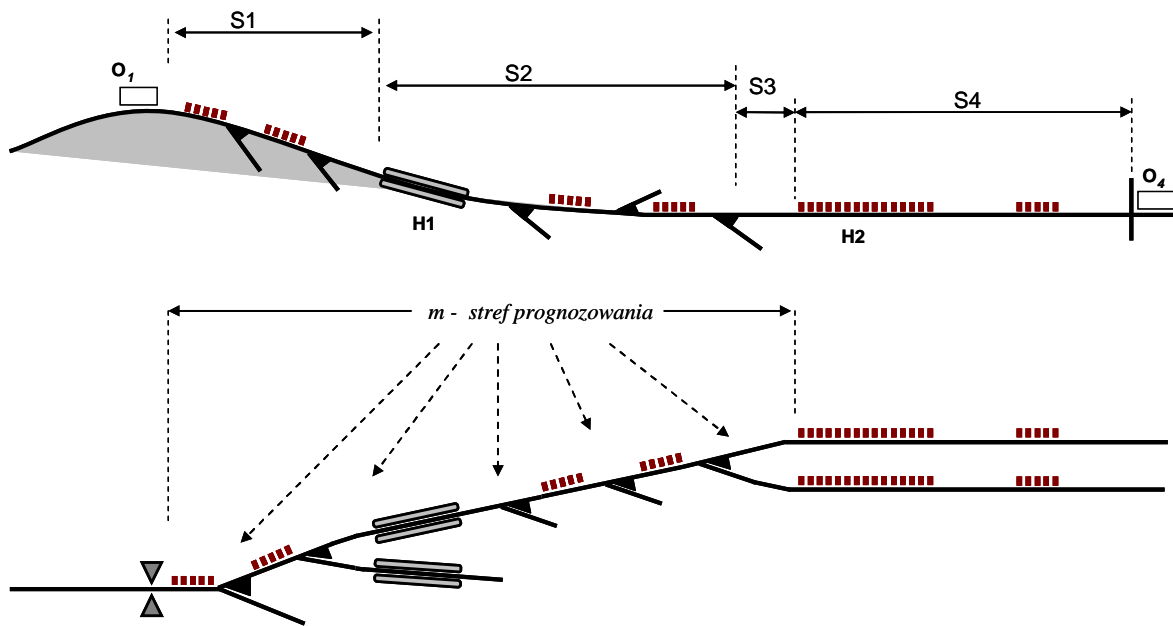
Takie rozwiązanie znacznie wydłuża czas rozrządzenia jednego składu i powoduje, że kosztowna infrastruktura zautomatyzowanej stacji nie jest wykorzystywana zgodnie z przeznaczeniem. W przypadku konieczności zwiększenia prędkości rozrządzenia, dla składów niejednorodnych, złożonych z odpręgów lekko i ciężkobieźnych o różnej długości, powraca problem dopędzania się odpręgów w strefach S2 i S3, a także w strefie S1 przed i na hamulcu odstępowym.

W strefie S1 oddziaływanie celowe na odpręgi jest możliwe wyłącznie poprzez zmianę prędkości napychania składu na górkę. Jak wskazano wyżej, praktyczne efekty takiego oddziaływania są jednak ograniczone. Z kolei dla stref S2 oraz S3 jedynym punktem oddziaływania jest hamulec odstępowy H1. Strefa prognozowania ruchu odpręgów SpI obejmuje złożony geometrycznie odcinek stacji. W tym obszarze występuje także zróżnicowane oddziaływanie czynników naturalnych.

Dla zwiększenia możliwości oddziaływania celowego na odpręgi w strefach S1 i S2 warto wykorzystać fakt, iż na tym odcinku (szczególnie w strefie S1) następuje intensywne zamiana energii potencjalnej odpręgu na energię kinetyczną. Z uwagi na znaczne pochylenie toru, po celowym obniżeniu energii kinetycznej odpręgu może nastąpić jej ponowny wzrost. Na torze kierunkowym taki efekt można uzyskać wyłącznie stosując urządzenia dopychające.

Rozwiązaniem umożliwiającym osiągnięcie płynnego przemieszczania wagonów na stoczni rozrządowej oraz zapobieganie dopędzaniu się odpręgów może być wyposażenie strefy S1 oraz S2 w hamulce punktowe. Dodatkowe oddziaływanie celowe w strefie S1 umożliwi zachowanie wymaganych odstępów między odpręgami wjeżdżającymi na hamulec H1 przy stosowaniu pierwotnie założonej prędkości napychania składu na górkę. Analogicznie hamulce punktowe zainstalowane w strefie S2 ułatwią regulację prędkości odpręgów oraz utrzymanie wymaganych odstępów między nimi.

Przykładowe rozmieszczenie punktów oddziaływania na odpręgi w strefach S1 oraz S2 przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Rozmieszczenie hamulców punktowych w strefach S1 i S2

Źródło: opracowanie własne

Dla efektywnej regulacji ruchu odpręgów w tym obszarze niezbędny jest także dostęp do informacji określających:

- stan dynamiczny poszczególnych odpręgów i jego zmiany,
- parametry ruchu odpręgów,
- masę odpręgów i liczbę osi,
- siłę i kierunek oddziaływania czynników naturalnych w poszczególnych punktach drogi staczania (szczególnie w strefach S2 i S3).

Takie rozwiązanie poprawi możliwość regulacji stanu dynamicznego odpręgów w strefach S1 i S2, a jednocześnie spowoduje, że dotychczasowa strefa prognozowania SpI zostanie rozszerzona i podzielona na kilka stref o niewielkiej długości co zwiększy dokładność przewidywania ruchu odpręgów.

Podobnie jak w systemie SARPO, dla każdego odpręgu przekraczającego szczyt góry można określić energetyczny obszar sterowań dopuszczalnych [1]. Zwiększenie prędkości napychania składu na górkę oraz maksymalnej prędkości wyjazdu odpręgu z hamulca H1 przy jednoczesnym zwiększeniu liczby punktów oddziaływania w strefach S1 i S2 sprawi, że energetyczny obszar sterowań dopuszczalnych będzie znacznie większy niż dla aktualnie stosowanych rozwiązań systemu *spw*. Pozwoli to w sposób elastyczny wybierać wymagane trajektorie ruchu odpręgów na odcinkach między kolejnymi punktami odbioru energii w zależności od właściwości biegowych odpręgów, sytuacji ruchowej w strefach S1, S2 i S3, intensywności oddziaływania czynników naturalnych oraz odległości do punktu celu na torze kierunkowym.

Wdrożenie nowych rozwiązań wymaga przeprowadzenia szczegółowych analiz, które w szczególności pozwolą określić liczbę potrzebnych hamulców punktowych, a także miejsce ich zabudowy i rozmieszczenie w strefach S1 i S2.

Niezbędne jest także opracowanie systemu sterowania wszystkimi hamulcami w strefach S1 i S2, zintegrowanego z systemem nastawiania zwrotnic.

PODSUMOWANIE

Na stacjach rozrządowych sieci PKP PLK S.A. wykorzystywana jest metoda swobodnego przemieszczania wagonów (system *spw*). Niewielka liczba punktów oddziaływania celowego na odprężę, a także brak wystarczających informacji o przebiegu procesu staczania wagonów w poszczególnych strefach stacji w istotny sposób obniżają efektywność procesu rozrządzenia. Wprowadzenie systemu SARPO pozwoliło zwiększyć skuteczność regulacji prędkości w obszarze torów kierunkowych. W strefie podziałowej stacji nadal istnieje tylko jeden punkt oddziaływania celowego na odprężę (hamulec H1). Występują przypadki doganiania się odprężeń w tej strefie co prowadzi do powstawania mylników lub powoduje, że odprężę wjeżdżają na tory kierunkowe ze zbyt małą prędkością i zatrzymują się przed dotarciem do miejsca przeznaczenia. Regulacja odstępów między odprężami poprzez zmianę prędkości napychania składu na górkę rozrządową jest mało efektywna, a ponadto zakłóca proces rozrządzenia i obniża jego wydajność. Wyeliminowanie nieprawidłowości występujących w tym obszarze wymaga wprowadzenia nowych rozwiązań obejmujących zarówno zwiększenie możliwości celowego oddziaływania na odprężę jak też zwiększenie możliwości oddziaływania informacyjnego na proces regulacji [2,3]. Zastosowanie hamulców punktowych jako elementów wspomagających funkcjonowanie szeregowego hamulca odstępowego H1 powinno w istotny sposób poprawić efektywność procesu rozrządzenia na zautomatyzowanych stacjach rozrządowych.

PURPOSEFUL OPERATIONS IN MARSHALLED WAGONS SPEED REGULATION ON THE AUTOMATED MARSHALLING YARD

Abstract

Paper discussed the problem of wagon speed regulation on the marshalling yard. The kinetic energy of wagons changes influenced by natural interactions and purposeful human operations. Braking of marshalled wagon causes changes in its dynamic state. Effectiveness of speed regulation depends on the accuracy prediction of changes in the dynamic state of marshalled wagons and ability to purposeful influence at different points of the station. The new, fully automated speed control systems should allow quasi-continuous assessment of the marshalled wagons dynamic state and quasi-continuous, efficient energy absorption.

BIBLIOGRAFIA

1. Buława M., Dyduch J., Moczarski J.: *Systemy automatycznego rozrządzenia wagonów wczoraj i dziś*. Problemy Kolejnictwa 2011, Zeszyt 152.
2. Moczarski J.: *Proces rozrządzenia jako sekwencja zmian stanów dynamicznych odprężeń*. Logistyka 2011, nr 6.
3. Moczarski J.: *Infrastruktura techniczna w regulacji prędkości odprężeń na stacjach rozrządowych*. Transport i komunikacja 2010, nr 6.
4. *Ie-1. Instrukcja sygnalizacji*. PKP PLK S.A. Warszawa 2007.

Autor:

dr inż. Jarosław MOCZARSKI– Politechnika Warszawska, Instytut Kolejnictwa Warszawa