

SIEĆ NEURONOWA W OPTIMALIZACJI ZJAWISK FIZYCZNYCH ZACHODZĄCYCH W TRAKCIE PRZEJAZDU POJAZDU SZYNOWEGO PRZEZ TOR

W artykule autorzy przedstawią koncepcję wykorzystania sieci neuronowej w analizie danych uzyskanych z procesów symulacyjnych przedstawiających zjawiska fizyczne występujące w chwili przejazdu pojazdu szynowego przez tor. Głównymi parametrami na których skupiono całą uwagę są występujące siły normalne, wzdłużne i poprzeczne w obszarze kontaktowym powstającym w skutek kontaktu koła z szyną. Omówiono model matematyczny opisujący szereg zjawisk fizycznych zachodzący pomiędzy poszczególnymi podzespołami wchodzącymi w skład pojazdu szynowego. W dalszym ciągu artykułu po przedawnieniu własnej koncepcji sieci neuronowej i wyjaśnieniu jej funkcjonowania omówiono algorytm, który odpowiedzialny jest za eliminowanie wartości sił odbiegających znacząco od ustalonych wartości. Wyniki z badań symulacyjnych zaprezentowano w dwóch grupach, pierwsza odnosi się do wykresów uzyskanych w trakcie przeprowadzenia badań z wykorzystaniem oprogramowania Universal Mechanism, w drugiej części przedawniono wyniki z danych otrzymanych w pierwszym etapie testów przez sieć neuronową. Na zakończenie artykułu umieszczono wnioski wynikające z zaprezentowanych w artykule badań.

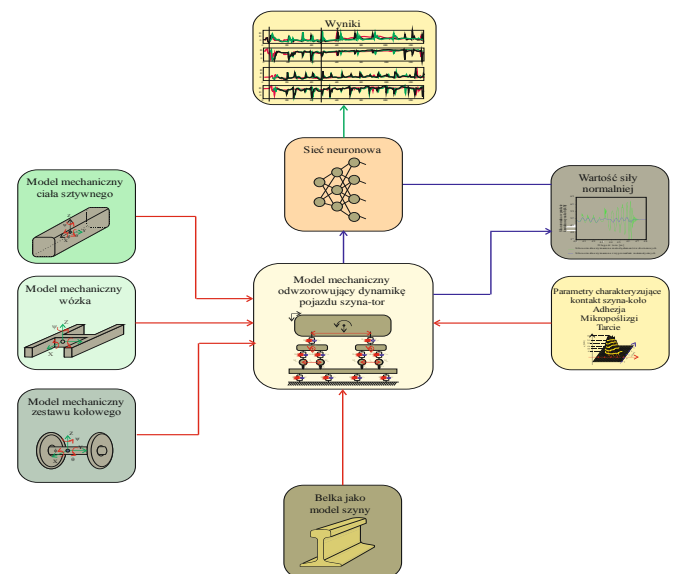
1. WPROWADZENIE DO DYNAMIKI POJAZDU SZYNOWEGO

Przystępując do analizy dynamiki pojazd szynowy tor w pierwszym kroku należy zdefiniować wszystkie elementy pojazdu na które współdziałają ze sobą. W większości modeli mechanicznych opisujących interakcję pojazdu na tor wzięto pod uwagę: ciało sztywne (nadwozie pasażerskie lub towarowe), wózek oraz zestaw kołowy. Wszystkie wymienione segmenty po skompletowaniu będą odwzorowywać rzeczywiste zachowanie się pojazdu szynowego poruszającego się po torach kolejowych. Dla symulacji komputerowych przedstawionych w dalszej części pracy przyjęto, że wszystkie fragmenty składowe pojazdu szynowego-tor będą konstrukcjami sztywnymi, które charakteryzują się określoną masą i momentami bezwładności. W modelu pojazdu szynowego rozważono działanie sił na każde ogniwo od ciała sztywnego rozpoczynając poprzez wózek a na zestawie kołowym kończąc.

Zatem, wytyczne jakimi należy się kierować przy tworzeniu modelu dynamicznego można przedstawić na schemacie blokowym (Rys 1), zaś jego realizacja wymaga najpierw rozwiązania kilku problemów:

1. W matematycznym opisie dynamiki pojazd szynowy-tor uwzględnić należy zjawiska kontaktowe, które w niniejszej pracy zdefiniowano równaniami opracowanymi przez Kalkera.
2. Siła normalna występująca na szynie będzie wartością zmienną i wyznaczana będzie z poprzedniego kroku obliczeń matematycznych przeprowadzonych dla określonych parametrów pociągu (rozstaw osi i wózka).
3. Tor kolejowy zamodelowano jako belkę Eulera-Bernoulliego, po której odbywa się toczenie koła o prędkości v oraz zachodzą zjawiska kontaktowe (powstaje obszar elipsy o parametrach a i b).
4. W dynamice ruchu pojazdu po torze wzięto pod uwagę także takie zjawiska jak: adhezja, mikropoślizgi oraz zużycie materiałowe koła i szyny.

5. W rozważanym model wzięto pod uwagę możliwość wystąpienia dwóch elips kontaktowych występujących w skutek toczenia się koło po szynie (rozjazd kolejowy).



Rys. 1 Schemat blokowy generowania modelu dynamicznego pojazdu szyna-tor

W trakcie opracowywania modelu matematycznego opisującego dynamikę pojazdu szynowego po torze oparto się na następujących założeniach:

1. Na obiekt pojazdu szynowego składać się będą następujące elementy: jedno nadwozie, dwa wózki, cztery zestawy kołowe..
2. Poszczególne komponenty pojazdu szynowego traktowane będą jako ciała sztywne, które połączono ze sobą liniowymi elementem sprężystym i tłumiącym.
3. Zmienne występujące w opisie dynamik obiektu ruchomego z indeksem p odnoszą się do nadwozia, zmienne wózka oznaczone

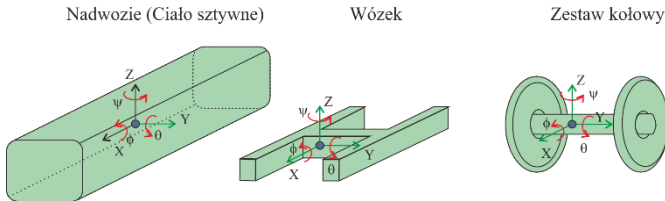
indeksem w, z kolei literką z oznaczono zmienne zestawu kołowego.

Nadwozie wspólnie z wózkiem określa pięć stopni swobody (ang. DOF's); przesunięcia wagonu i wózka w kierunku osi y oraz z, oznaczone jako: $u_{p,y}, u_{p,z}, u_{w,y}, u_{w,z}$ zaś obrót wymienionych podzespołów wokół wszystkich trzech osi (x, y, z) zdefiniowano przez

$$\varphi_{p,x}, \varphi_{p,y}, \varphi_{p,z}$$

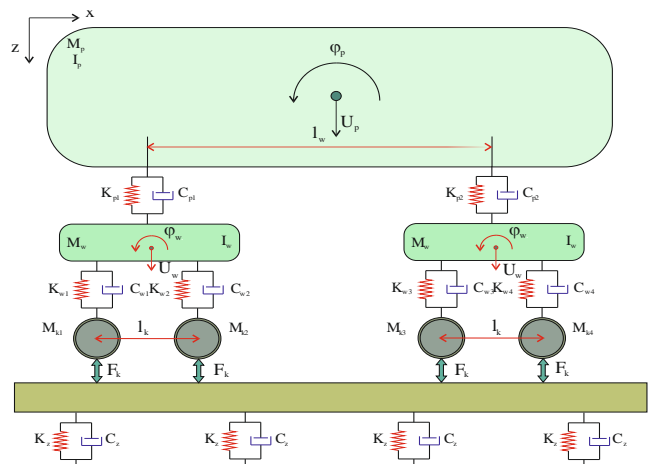
$$\varphi_{w,x}, \varphi_{w,y}, \varphi_{w,z}$$

Każdy zestaw kołowy opisano trzema stopniami swobody, zaś występujący na tej części przemieszczenia we wszystkich trzech kierunkach, oznaczono przez $u_{z,x}, u_{z,y}, u_{z,z}$.

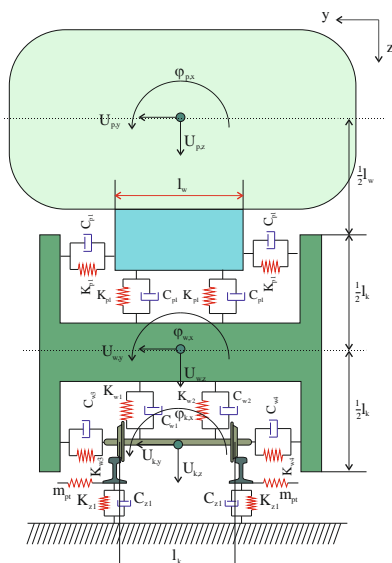


Rys. 2 Stopnie swobody części składowych pojazdu szynowego-tor

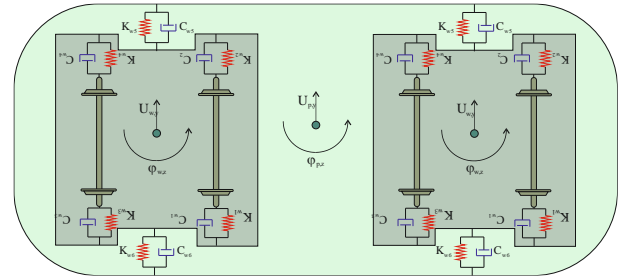
W oparciu o powyższe założenia opracowano model mechaniczny przedstawiony na (rys.3,4,5).



Rys. 3 Model dynamiczny pojazdu szynowego-tor widok wzdłużny



Rys. 4 Model dynamiczny pojazdu szynowego-tor widok z przodu



Rys. 5 Model dynamiczny pojazdu szynowego-tor widok z dołu

Równania opisujące ruch dynamiczny rozdzielona na trzy części. Pierwsza część odnosi się do dynamiki nadwozia, a równania opisujące zjawiska zachodzące na wspomnianym komponentie zapisano następująco:

$$M_w \frac{\partial^2 u_w}{\partial t^2} + 2C_w \frac{\partial u_w}{\partial t} + 2K_w u(t) - C_w \frac{\partial u_{wz1}}{\partial t} - K_w u_{wz1}(t) - C_w \frac{\partial u_{wz2}}{\partial t} - K_w u_{wz2}(t) = 0 \quad (1)$$

Dla obrotu (pitch) nadwozia zapisać można:

$$J_w \frac{\partial^2 \varphi_w}{\partial t^2} + 2C_w L_c^2 \frac{\partial \varphi_w}{\partial t} + 2K_w L_c^2 \varphi_w(t) - C_w L_c \frac{\partial u_{wz1}}{\partial t} - K_w L_c u_{wz1}(t) + C_w L_c \frac{\partial u_{wz2}}{\partial t} - K_w L_c u_{wz2}(t) = 0 \quad (2)$$

Dla przesunięcia poprzecznego nadwozia

$$M_{wz1} \frac{\partial^2 u_{wz1}}{\partial t^2} + (C_w + 2C_{pr}) \frac{\partial u_{wz1}}{\partial t} + (K_w + 2K_{pr}) u_{wz1} - C_w \left(\frac{\partial u_w}{\partial t} + L_c \frac{\partial \varphi_w}{\partial t} \right) - K_w (u_w + L_c u_{wz2}(t)) - C_{pr} \frac{\partial u_{w2}}{\partial t} - K_{pr} u_{w2} = 0 \quad (3)$$

Dla obrotu poprzecznego nadwozia

$$J_{b1} \frac{\partial^2 \varphi_{b1}}{\partial t^2} + 2C_{pr} L_w^2 \frac{\partial \varphi_{b1}}{\partial t} + 2K_{pr} L_w^2 \varphi_{b1}(t) - C_{pr} L_w \frac{\partial u_{w1}}{\partial t} - K_{pr} L_w u_{w1}(t) + C_{pr} L_w \frac{\partial u_{w2}}{\partial t} + K_{pr} L_w u_{w2}(t) = 0 \quad (4)$$

$$M_{b2} \frac{\partial^2 u_{b2}}{\partial t^2} + (C_w + 2C_{pr}) \frac{\partial u_{b2}}{\partial t} + (K_w + 2K_{pr}) u_{b2} - C_w \left(\frac{\partial u_w}{\partial t} + L_c \frac{\partial \varphi_w}{\partial t} \right) - K_w (u_w + L_c u_{wz2}(t)) - C_{pr} \frac{\partial u_{w3}}{\partial t} - K_{pr} u_{w3} - C_{pr} \frac{\partial u_{w4}}{\partial t} - K_{pr} u_{w4} = 0 \quad (5)$$

Dla widoku wzdłużnego:

$$J_{b2} \frac{\partial^2 \varphi_{b2}}{\partial t^2} + 2C_{pr} L_w^2 \frac{\partial \varphi_{b2}}{\partial t} + 2K_{pr} L_w^2 \varphi_{b2}(t) - C_{pr} L_w \frac{\partial u_{w3}}{\partial t} - K_{pr} L_w u_{w3}(t) + C_{pr} L_w \frac{\partial u_{w4}}{\partial t} + K_{pr} L_w u_{w4}(t) = 0 \quad (6)$$

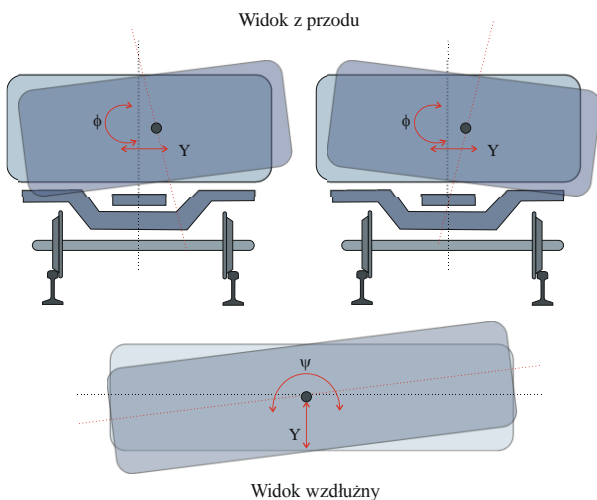
Dla zestawu kołowego:

$$M_w \frac{\partial^2 u_{w1}}{\partial t^2} + C_{pr} \frac{\partial u_{w1}}{\partial t} + K_{pr} u_{w1}(t) - C_{pr} \left(\frac{\partial u_{b1}}{\partial t} + L_w \frac{\partial \varphi_{b1}}{\partial t} \right) - K_{pr} (u_{b1} + L_w \varphi_{b1}(t)) + P_{WR1} = 0 \quad (7)$$

$$M_w \frac{\partial^2 u_{w2}}{\partial t^2} + C_{pr} \frac{\partial u_{w2}}{\partial t} + K_{pr} u_{w2}(t) - C_{pr} \left(\frac{\partial u_{b1}}{\partial t} + L_w \frac{\partial \varphi_{b1}}{\partial t} \right) - K_{pr} (u_{b1} + L_w \varphi_{b1}(t)) + P_{WR2} = 0 \quad (8)$$

$$M_w \frac{\partial^2 u_{w3}}{\partial t^2} + C_{pr} \frac{\partial u_{w3}}{\partial t} + K_{pr} u_{w3}(t) - C_{pr} \left(\frac{\partial u_{b2}}{\partial t} + L_w \frac{\partial \varphi_{b2}}{\partial t} \right) - K_{pr} (u_{b2} + L_w \varphi_{b2}(t)) + P_{WR3} = 0 \quad (9)$$

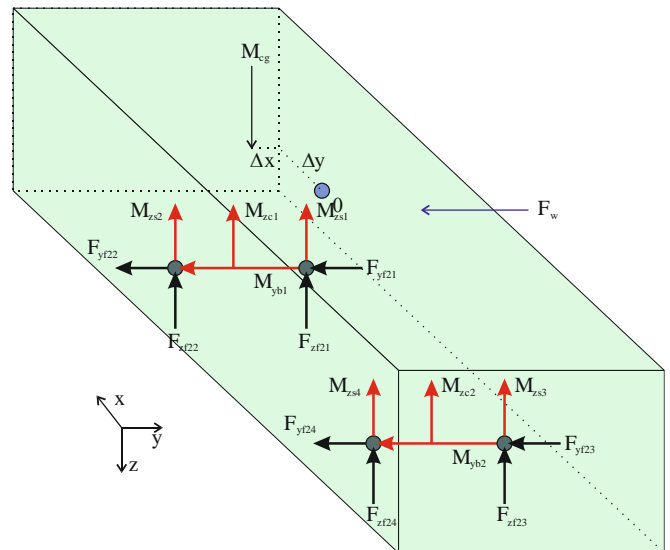
$$M_w \frac{\partial^2 u_{w4}}{\partial t^2} + C_{pr} \frac{\partial u_{w4}}{\partial t} + K_{pr} u_{w4}(t) - C_{pr} \left(\frac{\partial u_{b2}}{\partial t} + L_w \frac{\partial \varphi_{b2}}{\partial t} \right) - K_{pr} (u_{b2} + L_w \varphi_{b2}(t)) + P_{WR3} = 0 \quad (10)$$



Rys. 6 Ruch pojazd szynowy-tor

Matematyczny opis interakcji dynamicznych zachodzących między torem kolejowym a taborem dla kolei dużych prędkości rozpocząć należy od zdefiniowania wartości prędkości z jaką realizowany będzie ruch pociągu. Wielkość ta będzie pośrednio wpływać na wszystkie trzy siły (normalna, wzdłużna i poprzeczna) wywierane przez tabor na szyny. W efekcie powstają odkształcenia sprężyste. Na rys. 7 przedstawiono model mechaniczny interakcji siły normalnej wywodzącej się z zestawu kołowego, która oddziałuje na belkę ciąglą posiadającą właściwości elastyczne, którą ułożono na podkładach (element sprężysty).

Siła F wywierana na belkę generowana poprzez toczące po niej koło w punkcie kontaktu wywołuje ugięcie belki. Przyjmując elipsę kontaktową za punkt odniesienia uzyskano ruch oscylacyjny nadwozia taboru w stosunku do płaszczyzny poziomej podłoża na którym umieszczono belkę. Przebieg obrazujący ruch oscylacyjny różni się w zależności od wartości obciążenia jakie wytwarza się na kołach.



Rys. 7 Rozkład sił na układzie pojazd szynowy-tor

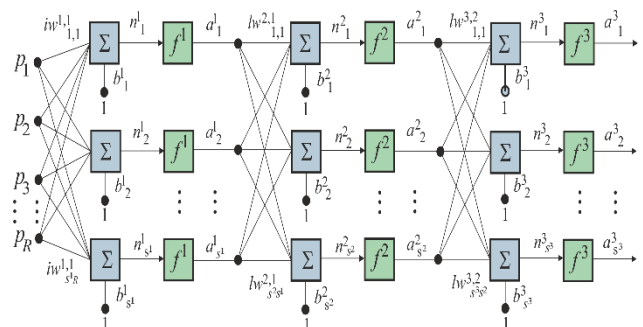
2. SIECI NEURONOWE W DYNAMICE POJAZDU SZYNOWEGO TOR

Sieci neuronowe biorąc pod uwagę ich funkcjonalność można zaliczyć je do kategorii tzw. „modeli czarnych skrzynek” lub modeli napędzających procesy obliczeniowe. Tego typu modele są często używane gdy fizyka analizowanego systemu lub zjawisko trudne jest do zamodelowania matematycznego, niepewne lub trudne do reprezentacji z klasycznym podejściem deterministycznym, ale dostępną jest duża liczba parametrów wejściowych charakteryzujących zjawiska fizyczne.

Model sieci neuronowej ma strukturę matematyczną zdefiniowaną przez użytkownika z uwzględnieniem procesów iteracyjnych zwanych uczeniem sieci neuronowej. W efekcie określania wartości parametrów charakteryzujących obiekt lub zjawiska fizyczne w celu uzyskania modelu zdolnego do przetwarzania wielkości wejściowych i wyjściowych.

Sieć neuronowa jest zwykle dostosowana do rodzaju danych wejściowych a połączenia między neuronami są zawsze z wejścia do wyjścia na którym otrzymywany jest wynik końcowy. Każda warstwa wewnętrzna może zawierać nieograniczoną liczbę neuronów a warstwa wyjściowa zawiera liczbę neuronów równą liczbie neuronów funkcji, która jest przybliżana.

Wszystkie neurony warstwy mają tę samą funkcję aktywacji, która musi zostać wybrana podczas definiowania architektury sieci (Rys.8).



Rys. 8 Architektura sieci neuronowej służącej do przetwarzania danych dynamicznych dostarczonych z symulacji dynamicznej pojazdu szynowego

Wskazane jest za pomocą p i a określić wektory danych wejściowych i wyjściowych, z kolei przez x zdefiniowano wektor zawierający

wagi i odchylenia dla wszystkich neuronów zawartych w sieci. Relacje zachodzące pomiędzy nimi są następujące:

$$a = \tilde{F}(x, p) \quad (11)$$

Po strukturze sieci neuronowej w której ujęto liczbę ukrytych warstw sieci, liczbę neuronów, funkcje aktywacji podjęto próbę określenia parametrów wagi i odchylenia), które zostały wybrane w drodze uczenia się opracowanej struktury sieci. W przedstawionej aplikacji celem sieci neuronowej jest uzyskanie przy najniższym obciążeniu obliczeniowym wyników odnośnie wartości wszystkich możliwych siły występujących w punkcie kontaktowym. Wartości parametrów sieci wektora x muszą w następnej kolejności odpowiednio dobrane w celu uzyskania najlepszych dopasowani między siłami występujących w powierzchni kontaktowej koła z szyną. Zaznaczyć wypada, że przyjęty w wielu publikacjach model deterministyczny odpowiedzialny za rozwiązywanie modeli matematycznych określających wartości sił jakie oddziałują z korpusy ma szynę, ich główną wadą są ogromne zasoby obliczeniowe. Opracowany model w oparciu o sieć neuronową, w którym zaimplementowano algorytm optymalizujący wartości sił kontaktowych można wdrożyć w trybie online, zapewniając krótki czas obliczeń bez potrzeby przechowywania w pamięci dużej liczby danych.

Etapy identyfikacji funkcji za pomocą sieci neuronowej wymagają zrealizowania trzech odrębnych kroków:

1. Gromadzenie danych referencyjnych, w których należy uwzględnić warunek, że każda baza danych jest wektorem zawierającym dowolny wektor danych wejściowych i odpowiedni wektor danych wyjściowych,
2. Wybór architektury sieci neuronowej i określanie funkcji aktywacji musi odbywać się dla każdego neuronu,
3. Proces uczenia sieci neuronowej w trakcie przetwarzania danych referencyjnych są przekazywane do sieci, a wartości pozostałych parametrów są aktualizowane w procesie iteracyjnym w celu zminimalizowania odległości między wyjściem sieci a pożądanym wyjściem. Odległość ta może być określona na kilka sposobów (wyznaczenie średniego błędu kwadratowego).

W przedstawionej w artykule architektura sieci neuronowej oparta jest na technologii wielowarstwowej z metodą uczenia wspartą algorytmem Levenberg-Marquardt [2].

Dane obrazujące dynamikę pojazdu szynowego podzielona na trzy podgrupy: zestaw początkowy, który wykorzystywany jest celach aktualizacyjnych parametrów charakteryzujących funkcjonowanie sieci neuronowej. Druga grupa danych służy do sprawdzania poprawności danych wejściowych, które wymagane są do zatrzymania i rozpoczęcia procesu uczenia. Informacje te wykorzystywane są również do skorygowania poprawności wielkości, w analizowanym przypadku odnosić się będą do uśrednienia wartości siły występujących w punkcie kontaktowym. Ponadto posłużoną one do oszacowania błędów występujących w każdej epoce. W sytuacji jeśli średni błąd kwadratowy w procesie uczenia podnosi o pewną liczbę kolejne epoki to nastąpi zatrzymanie procesu. Funkcja ta (wczesne zatrzymanie) jest niezbędna, aby uniknąć zjawiska przekierowania sieci, w którym aktualizacja wag i odchylenia nie odpowiadają lepszemu przybliżeniu funkcji celu. Ostatnia grupa to są interesujące nas dane liczbowe wykorzystywane w procesie pracy sieci neuronowej.

3. OKREŚLENIE STRUKTURY SIECI NEURONOWEJ ORAZ PRÓBEK TESTOWYCH

Projektując sieć neuronową odpowiedzialną za określanie wartości parametrów charakteryzujących zjawiska fizyczne zachodzące

w ruchu pojazdu szynowego należy w pierwszym kroku zwrócić szczególną uwagę na koncepcie architektury, od której w dużej mierze zależy jej wydajność. Uwzględniając dane wejściowe dostarczane na wejście sieci neuronowej podjęto decyzję o opracowanie struktury sieci dwuwarstwowej. W drugim kroku należy odpowiednio do charakteru wielkości wejściowych dobrać funkcję aktywacyjną w warstwie ukrytej oraz liniową funkcję w warstwie wyjściowej. O liczbie neuronów w warstwie wyjściowej decyduje liczba sygnałów dostarczanych na wyjście w warstwie ukrytej, która może być zmieniana. Operacja ta ma celu zoptymalizować końcowy wynik po względem szybkości działania opracowanego algorytmu i precyzji pracy sieci neuronowej.

Zwiększenie liczby neuronów w procesie doboru próbek testowych (etap uczenia sieci) oraz w końcowej implementacji sieci. Ponadto można zauważyć, że precyzja opracowanego modelu sieci neuronowej będzie się zwiększać wraz z liczbą neuronów. Wydajność sieci oceniana jest pod kątem występujących błędów w systemie testowym. Danymi testowymi będą wartości siły normalnej występującej w kontakcie koło-szyna, siła wzdłużna oraz siła poprzeczna Y . Zatem dla k -tych elementów danych wejściowych sieci neuronowej w występujących punktach kontaktowych dla każdej konfiguracji przejazd pojazdu trakcyjnego przy różnych prędkościach określono postać wektora zdefiniowanych sił według metody MinDIFF (metoda minimów lokalnych obliczonych metodą DIFF) oraz wykorzystano metodę numeryczną MinNET (metoda obliczająca minima lokalne poprzez sieci neuronową,) zdefiniowane jako:

$$\begin{aligned} MinDIFF &= [x_{b1}^M, y_{b1}^M, x_{b2}^M, y_{b2}^M, \dots, x_{bk}^M, y_{bk}^M]^T \\ MinNET &= [x_{b1}^{NN}, y_{b1}^{NN}, x_{b2}^{NN}, y_{b2}^{NN}, \dots, x_{bk}^{NN}, y_{bk}^{NN}]^T \end{aligned} \quad (12)$$

Algorytm, który definiuje liczbę błędów e_j w j -tym etapie działania sieci neuronowej skonfigurowanej do oceny i optymalizacji sił występujących w punkcie kontaktowym opisano następującym kodem:

$$\begin{aligned} e_j &= 0 \\ &\text{for } i=1,2,\dots,k \\ &\text{if } \sqrt{(x_{bi}^M - x_{bi}^{NN})^2 + (y_{bi}^M - y_{bi}^{NN})^2} \geq \text{toll} \\ &\quad e_j = e_j + 1 \\ &\quad \text{end} \\ &\text{end} \end{aligned}$$

Innymi słowy opracowany algorytm zwiększa wystąpienia błędów w procesie przetwarzania danych przez sieć neuronową i dane z znacznie przekraczającą wartości eliminuje (ustalona wartość siły występującej w punkcie kontaktowym). Procentowy błąd w trakcie pracy sieci neuronowej oznaczono przez Q_k^t i w konfiguracji sieci neuronowej uwzględniany jest przez:

$$E_k = \frac{\sum_{j=1}^{Q_k^t} e_j}{k \cdot Q_k^t} \quad (13)$$

Dla wszystkich punktów kontaktowych uwzględnionych w konfiguracji w trakcie wyznaczania błędów, algorytm dokonywał oceny otrzymanych danych według zależności:

$$E_{NN} = \frac{\sum_{k=1}^L E_k \cdot k \cdot A_k}{\sum_{k=1}^L k \cdot A_k} \quad (14)$$

gdzie L jest maksymalną wartością punktów kontaktowych dla których dokonano wyznaczenia sił.

4. SYMULACYJNE BADANIE NUMERYCZNE

W celu analizy wydajności obliczeniowej opracowanej architektury sieci neuronowej odpowiedzialnej za identyfikację siły normalnej, poprzecznej Y oraz siły wzdłużnej występujących w punkcie kontaktowym, zostały wdrożone w ramach symulacji komputerowej dynamiki pojazdu szynowego. Celem tej analizy jest sprawdzenie rzetelności zaproponowanego modelu i ocenić efektywność numeryczną

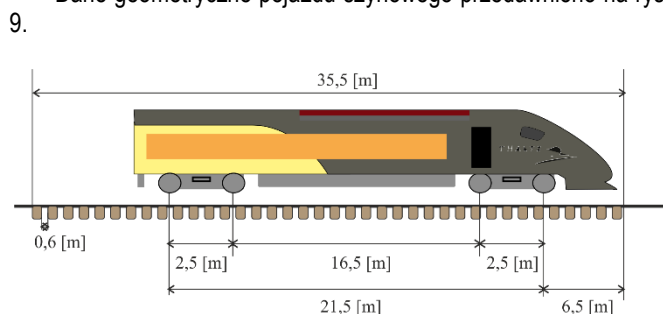
5. SYMULACJI DYNAMICZNE POJAZDU SZYNOWEGO

W tej części artykułu przedawnione zostaną wyniki z badań symulacyjnych wykonanych za pomocą oprogramowania multibody opracowanego w środowisku Universal Mechanism. Pojazd kolejowy wybrany do symulacji dynamicznych to model rzeczywisty pociągu „Manchester Wagon”. Dane konstrukcyjne pojazdu użytego w testach przedawniono w tabeli 1 [1].

Tab. 1 Dane konstrukcyjne pojazdu szynowego użytego w symulacjach komputerowych [2]

Masa i momenty bezwładnościowe			
Korpus wagonu		Zestaw kołowy	
Masa	1813 [kg]	Masa	32000 [kg]
Moment bezwładności przechylenia (roll)	1120 [kgm ²]	Moment bezwładności przechylenia (roll)	56800 [kgm ²]
Moment bezwładności nachylenia (pitch)	1120 [kgm ²]	Moment bezwładności nachylenia (pitch)	1970000 [kgm ²]
Moment bezwładności odchylenia (yaw)	1120 [kgm ²]	Moment bezwładności odchylenia (yaw)	1970000 [kgm ²]
Wózek			
Masa	2615 [kg]	Moment bezwładności przechylenia (roll)	1722 [kgm ²]

Dane geometryczne pojazdu szynowego przedawniono na rys. 9.



Rys. 9 Geometria pojazdu szynowego wykorzystana w badaniach komputerowych

Pojazd składał się z następujących części:

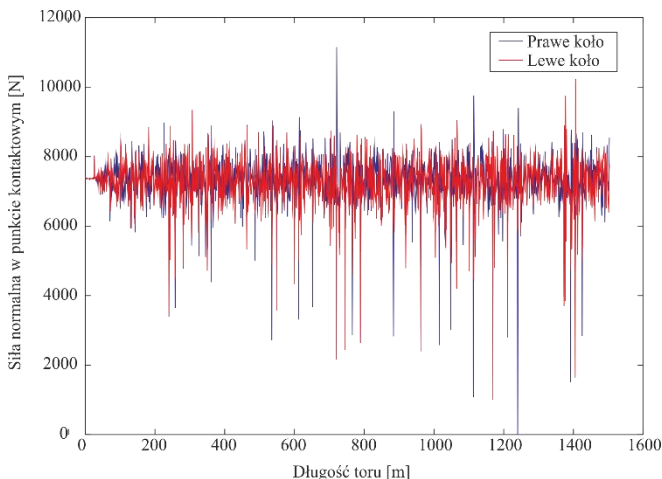
- Nadwozie,
- Dwóch wózków,
- Czterech zestawów kołowych
- Zwieszenia pierwotnego i wtórnego zamodelowanego poprzez nieliniowe trójwymiarowe elementy opisujące działanie sił, takie jak tuleje, amortyzatory i zderzaki.

Badania symulacyjne zostały przeprowadzone na torze prostym, przy dwóch różnych prędkościach pojazdu szynowego, mianowicie $v = 20$ [m/s] oraz $v = 30$ [m/s]. W tabeli 2 podano dane charakteryzujące tor po którym poruszał się pojazd.

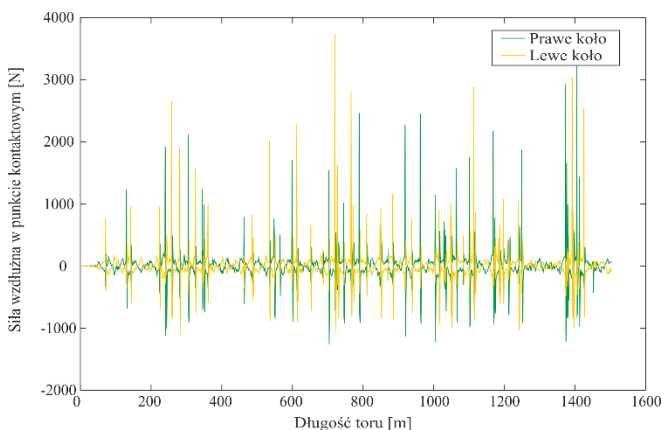
Tab.2 Dane konstrukcyjne torów [3]

Prędkość pojazdu szynowego $v = 20$ [m/s] oraz $v = 30$ [m/s]	
Profil koła	ORE S1002
Profil szyny	UIC60
Kąt pochylenia szyny	1/40
Długość torów	1500 [m]

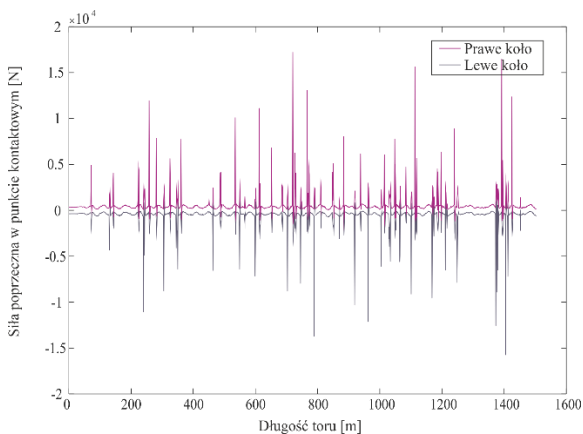
Poniżej przedawniono wyniki z symulacji komputerowych.



Rys. 10 Przebieg siły normalnej wyznaczonej w punkcie kontaktowym koło-szyna przy prędkości pojazdu szynowego wynoszącej $v = 20$ [m/s]

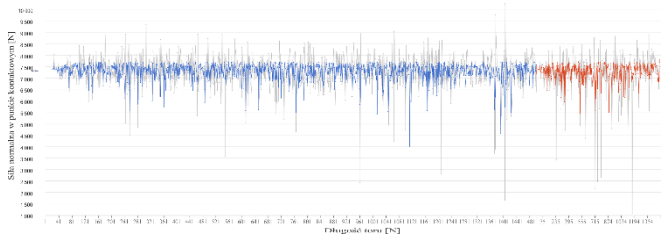


Rys. 11 Przebieg siły wzdłużnej wyznaczonej w punkcie kontaktowym koło-szyna przy prędkości pojazdu szynowego wynoszącej $v = 20$ [m/s]

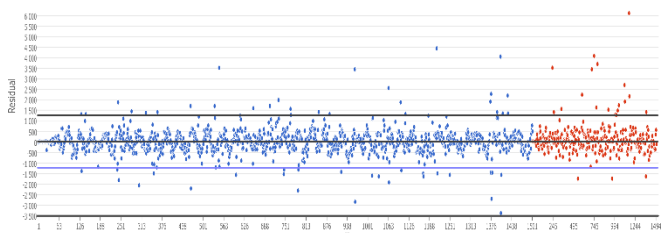


Rys. 12 Przebieg siły poprzecznej (Y) wyznaczonej w punkcie kontaktowym koło-szyna przy prędkości pojazdu szynowego wynoszącej $v = 20$ [m/s]

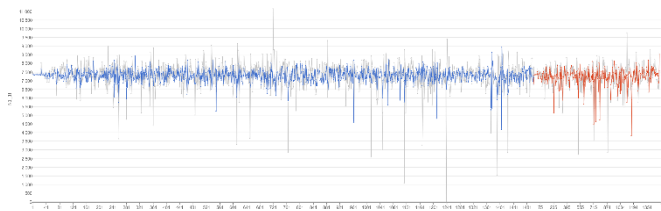
W kolejnym etapie dane odzwierciedlające wartości siły występujących we wszystkich kierunkach układu współrzędny (XYZ) wprowadzono do modelu sieci neuronowej. W kolejnym kroku uruchomiano proces uczenia się sieci (w zamieszczonych wykresach oznaczono go na niebiesko) oraz końcowy proces uzyskiwania wyniku po implementacji algorytmu (oznaczono na czerwono). Kolorem szarym oznaczone przebiegi uzyskane na etapie symulacji komputerowych zaprezentowanych w poprzednim podpunkcie artykułu. Otrzymane rezultaty, mając na uwadze liczbę przetwarzanych danych wejściowych oraz ich liczbność (cztery siły rozłożone na lewe i prawe koło zestawu kołowego) z koniecznością lepszego ich zobrazowania dokonano ich rozdzielania względem oddziaływania siły na szynie prawej oraz lewej. Uzyskane wyniki przedawniono na rys. 13 – 16



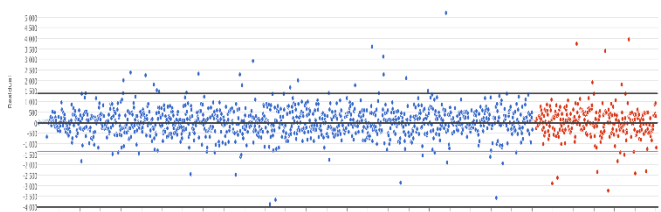
Rys. 13 Przebieg siły normalnej dla koła prawego uzyskanej w punkcie kontaktowym po przetworzeniu przez sieć neuronową



Rys. 14 Przebieg siły normalnej dla koła prawego uzyskanej w punkcie kontaktowym z implantowanym algorytmem w sieci neuronowej



Rys. 15 Przebieg siły normalnej dla koła lewego uzyskanej w punkcie kontaktowym po przetworzeniu przez sieć neuronową



Rys. 16 Przebieg siły normalnej dla koła lewego uzyskanej w punkcie kontaktowym z implantowanym algorytmem w sieci neuronowej

WNIOSKI

W tym artykule omówiono dwa podejścia do opisu zjawisk fizycznych pojawiających się trakcie ruchu pojazdu szynowego po torze. Pierwsze to podejście semi-analityczne, które uwzględniła dynamikę poszczególnych podzespołów wchodzących w skład pociągu jako trzy bryły sztywne połączone wzajemnie ze sobą za pomocą tłumików

i elementów sprężystych. Ponadto przyjęto, że koło i szyna to dwie niezależne powierzchnie na których zachodzi zjawisko kontaktu opisane za pomocą modelu matematycznego. Zaproponowane założenia pozwoliły na opracowanie dwóch różnych metod przetwarzania danych. Z otrzymanych wykresów wyraźnie widać, że przebiegi odnoszące się do wszystkich sił (normalnej, poprzecznej i wzdłużnej) znacząco poprawiły i ustaliły swoje przebiegi poprzez odrzucenie wartości znacząco odbiegających od przyjętych wartości.

BIBLIOGRAFIA

1. Iwnicki S. The Manchester benchmarks for rail vehicle simulators. Swets & Zeitlinger, Lisse, ISBN 90 2651551 0, (1999)
2. Kisilowski K., Kwiecień K., Kowalik R.: Analiza dynamiczna przejazdu pociągów szybkiej kolei przez rozjazd kolejowy. Logistyka nr 6/2014.
3. Kisilowski J.: Współpraca taboru z nawierzchnią w Kolejach Dużych Prędkości. Logistyka nr 3/2012.
4. Kisilowski J., Knothe K.: Advanced Railway Vehicle System Dynamics. WNT, Warszawa 1991.
5. Kisilowski J., Krukowski M., Szulczyk A.: Metoda wyznaczania masy zastępczej nawierzchni z podtorzem. Archiwum Inżynierii. Łądowej, t. XXX, z. 1, 1984.
6. Bieńczyk, R. Janiszewski, J. Komorek, A. Kowalik, R. Rypulak, A. Smolak, M.: Koncepcja wykorzystania sieci neuronowych w BSP, Logistyka 2014, Tom nr 6
7. Malvezzi M., Meli E., Faloni S., Rindi A., Determination of wheel-rail contact points: comparison between classical and neural network based procedures, Meccanica (2009) 44: 661–686

Neural network in optimization of physical appearance in the training of railway vehicles by the rails

In the article, the authors present the concept of using neural network in analysis of data obtained from simulation processes presenting physical phenomena occurring at the moment of passing a rail vehicle through the track. The main parameters in which attention is drawn are the normal, longitudinal, transverse and vertical forces in the contact area resulting from the contact of the wheel with the rail. After a brief introduction, a mathematical model describing a number of physical phenomena occurring between the various components of the rail vehicle is discussed. In the article, after aging of the neural network's own concept and explanation of its functioning, an algorithm has been described, which is responsible for elimination of values of forces deviating significantly from optimal values. Results from simulation studies are presented in two groups. The first one refers to the graphs obtained during the study using the Universal Mechanism software. In the second part the results of the data obtained in the first stage of the test were passed through the neural network. research article.

Autorzy:

prof. dr hab. inż. **Jerzy Kisilowski**, Uniwersytet Technologiczno – Humanistyczny w Radomiu. Wydział Transportu i Elektrotechniki.

dr inż. **Rafał Kowalik** - Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych, Wydział Lotnictwa, Katedra Awioniki i Systemów Sterowania

mgr **Tomasz Marek**