

Piotr Czech¹, Krystian Wilk², Rafał Łukasik³

¹ Katedra Budowy Pojazdów Samochodowych, Wydział
Transportu, Politechnika Śląska

² Katedra Eksploatacji Pojazdów Samochodowych, Wydział
Transportu, Politechnika Śląska

³ Regionalne Centrum Serwisowe TU Compensa SA

PERCEPTRON WIELOWARSTWOWY JAKO NARZĘDZIE SŁUŻĄCE DO WYZNACZANIA PRACY DEFORMACJI NADWOZIA SAMOCHODU PO KOLIZJI DROGOWEJ

Streszczenie – W artykule przedstawiono wyniki prób zastosowania perceptronu wielowarstwowego określającego stan deformacji nadwozia pojazdu samochodowego będącej skutkiem kolizji drogowej. Jako parametr badawczy przyjęto rozmiar szkody określony pracą deformacji nadwozia pojazdu poszkodowanego W_{def} . Natomiast jako elementy mechanizmu zdarzenia szkodowego determinujące rozmiar szkody analizowano czynniki wewnętrzne układu. Badaniem objęto tysiąc przypadków zgłoszonych celem likwidacji w śląskim oddziale jednego z zakładów ubezpieczeń.

1 Wprowadzenie

Rozwój infrastruktury drogowej w Polsce nie wykazuje proporcjonalności do wzrostu liczebności środków transportu. Ewidencja krajowa wskazuje, że liczba zarejestrowanych pojazdów wynosi około 17 milionów i wciąż utrzymuje trend rosnący. Stan ten jest spowodowany głównie importem pojazdów używanych.

Przyrost ten przekłada się na wzrost tzw. wskaźnika motoryzacji określonego liczbą samochodów osobowych na tysiąc mieszkańców. W roku 1994 wskaźnik motoryzacji w Polsce wynosił 185, zaś już dziesięć lat później osiągnął wartość 314. Dla porównania w roku 2004 wskaźnik ten wynosił na Węgrzech 274, we Francji 495, a w Niemczech 541.

W konsekwencji tego stanu rzeczy następuje znaczący wzrost natężenia ruchu drogowego, generujący zjawiska negatywne w postaci wysokiej liczby szkód komunikacyjnych. Tylko w roku 2004 doszło w Polsce do 51069 wypadków, w których śmierć poniosło 5712 osób, a rannych zostało 61191 osób, zaś Policja odnotowała 401440 zgłoszeń

o kolizji drogowej. Można równocześnie przypuszczać, iż faktyczna ich liczba była znacznie większa.

Pod względem poziomu zagrożenia w ruchu drogowym Polska wypada niekorzystnie w porównaniu z innymi krajami Unii Europejskiej. Pomimo wyższych wskaźników motoryzacji w państwach tych proporcjonalnie wypadkowość jest niższa, a przede wszystkim niższy jest wskaźnik ofiar śmiertelnych. W Polsce na 100 wypadków przypada statystycznie 10 zabitych, podczas gdy średnia dla Unii to 3 ofiary śmiertelne na 100 wypadków.

Oprócz trudno mierzalnych szkód osobowych, skutkiem zdarzeń komunikacyjnych są także bardzo wysokie koszty likwidacji szkód materialnych uszkodzonego mienia.

W celu poprawy stanu bezpieczeństwa w ruchu drogowym zasadnym jest szeroko rozumiane badanie elementów złożonego mechanizmu zdarzenia drogowego.

Celem badań była próba zbudowania sieci neuronowej typu perceptron wielowarstwowy służącej do określenia stopnia deformacji nadwozia pojazdu samochodowego będącej skutkiem kolizji drogowej. Za parametr badawczy przyjęto rozmiar szkody określony pracą deformacji nadwozia pojazdu poszkodowanego W_{def} . Natomiast jako elementy mechanizmu zdarzenia szkodowego, determinujące rozmiar szkody, analizowano rejestrowane w dokumentacjach szkodowych czynniki.

2 Deformacja nadwozi samochodowych

Stan deformacji nadwozia pojazdu jako skutek zdarzenia drogowego stanowi zasadniczy materiał badawczy umożliwiający analizę elementów składowych zaistniałego w danym przypadku mechanizmu szkodowego [1-3,8-10,12,14,15].

W sensie fizycznym pojazd samochodowy jest ciałem o charakterze sprężysto-plastycznym. W wyniku zderzenia dwóch, bądź większej liczby pojazdów następuje utrata energii kinetycznej układu, która ulega zamianie na pracę trwałej deformacji nadwozi uczestniczących w zderzeniu pojazdów.

Praca trwałej deformacji ustalana jest przy zastosowaniu trzech metod, tj.:

- metody porównawczej,
- metody graficznej,
- metody analitycznej.

W metodzie porównawczej praca deformacji nadwozia ustalana jest poprzez porównanie badanego ze skatalogowanym przypadkiem, który byłby najbardziej zbliżony do analizowanego.

Przykładowe dane zaczerpnięte z katalogu CD-EES do metody porównawczej dla deformacji przodu pojazdu będącej skutkiem kolizji drogowej przy prędkości 15 km/h pokazano na rys. 1.

Metoda ta wymaga posiadania przez rzeczoznawcę odpowiednio licznego katalogu udokumentowanych przypadków uszkodzeń.

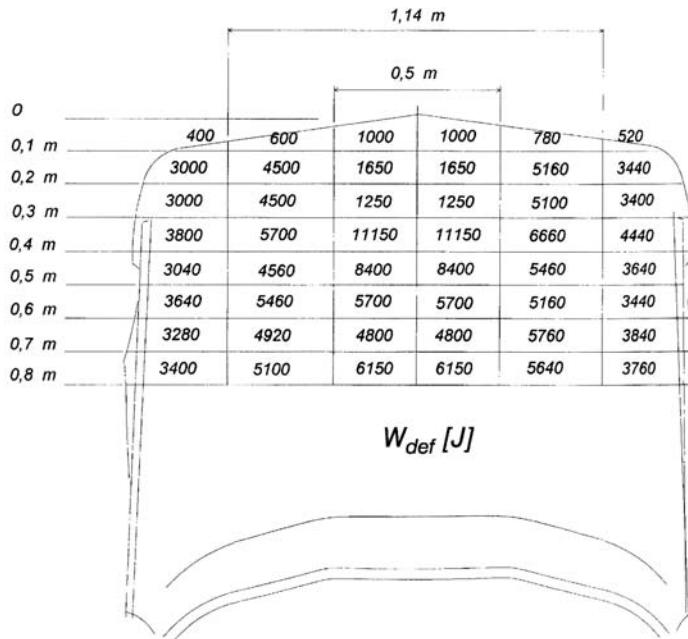
Metoda graficzna polega na wykorzystaniu tzw. rastera, tzn. siatki rozkładu pracy deformacji dla poszczególnych obszarów nadwozia pojazdu. Raster dzieli powierzchnię danej strefy nadwozia, określając wartości prac elementarnych koniecznych do deformacji danego jego segmentu. Siatki deformacji nadwozi są opracowywane przede wszystkim przez producentów dla poszczególnych modeli pojazdów.

Przykładową siatkę rozkładu pracy deformacji dla nadwozia 123 firmy Mercedes-Benz pokazano na rys. 2 [10].



Rys. 1. Przykładowe stany deformacji przodu nadwozia dla prędkości 15 km/h

Wadą tej metody jest utrudniony dostęp do rasterów poszczególnych modeli pojazdów, z uwagi na fakt, iż tylko nieliczni producenci publikują dane określające siatki rozkładu pracy deformacji nadwozi. Należy równocześnie pamiętać, że dane tego rodzaju pozyskiwane są w kosztownych badaniach niszczących, tzw. crashtestach.



Rys. 2. Przykładowa siatka rozkładu pracy deformacji nadwozia

Metoda analityczna umożliwia określenie wartości pracy odkształcenia nadwozia na podstawie geometrii jego deformacji. Metoda ta posiada znamiona formuły uniwersalnej, możliwej do zastosowania dla każdego pojazdu. Analitycznie praca deformacji wyliczana jest z zależności:

$$w_{def} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot h \cdot f_{trw}^2 \cdot k \quad (1)$$

gdzie:

W_{def} – praca deformacji [J],

b – średnia szerokość deformacji mierzona w kierunku stycznej zderzenia [m],

h – średnia wysokość deformacji [m],

f_{trw} – wartość odkształcenia trwałego na kierunku normalnej zderzenia [m],

k – sztywność jednostkowa [N/m m²]

Przy wyliczeniu wartości pracy deformacji istotne znaczenie ma zatem właściwe dobranie współczynnika sztywności jednostkowej, uzależnionego od konstrukcji nadwozia pojazdu. Z badań doświadczalnych wynika, iż wartość sztywności jednostkowej jest wysoko skorelowana z wielkością gabarytową pojazdu [2,3]. Wskaźnik sztywności przyjmuje wartości dla samochodów:

- małych: $k = (13,5...22,6) 10^5$ [N/m m²],
- średnich: $k = (9,1...13,5) 10^5$ [N/m m²],
- dużych: $k = (5,2...7,2) 10^5$ [N/m m²].

Niestety podane wartości współczynnika sztywności jednostkowej zostały wyznaczone dla konstrukcji z lat 80 i 90. Fakt ten może być przyczyną błędów powstałych przy ustalaniu pracy deformacji nadwozia wykorzystując do tego celu metodę analityczną.

3 Sposób określania pracy deformacji nadwozia przy wykorzystaniu perceptronu wielowarstwowego

W literaturze coraz częściej można się spotkać z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych do rozwiązywania różnorodnych zadań. Sztuczne sieci neuronowe pozwalają modelować dowolne nieliniowości, charakteryzując się odpornością na zakłócenia oraz zdolnością do uogólniania wiedzy [4-7,11, 13,16].

W niniejszym opracowaniu postanowiono sprawdzić przydatność sztucznych sieci neuronowych do określania pracy deformacji nadwozia pojazdu. W badaniach wykorzystano sieć neuronową typu perceptron wielowarstwowy. Badano wariant sieci z jedną oraz z dwoma warstwami ukrytymi. W każdym z przypadków sprawdzano wpływ liczby neuronów na poziom uzyskiwanej zgodności odpowiedzi z wzorcem. Na podstawie badań wstępnych założono dla każdej warstwy ukrytej możliwość występowania 5, 10, 15, 20, 25 i 30 neuronów. Dodatkowo sprawdzano przydatność 12 różnych metod uczenia (tabela 1). Dla każdej z metod określono najlepszy wariant architektury sieci. Zastosowanie w badaniach różnych algorytmów uczenia pozwoliło sprawdzić jaki mają wpływ na poprawność uzyskiwanych wyników. W warstwach ukrytych zastosowano neurony tangensoidalne.

Wejścia sieci neuronowych stanowiły następujące dane:

- typ nadwozia pojazdu uszkodowanego,
- wiek pojazdu uszkodowanego,
- masa pojazdu uszkodowanego,
- typ nadwozia sprawcy,
- wiek pojazdu sprawcy,
- masa pojazdu sprawcy,
- typ zdarzenia szkodowego,
- rodzaj kolizji,
- średnia szerokość deformacji mierzona w kierunku stycznej zderzenia,
- średnia wysokość deformacji,
- wartość odkształcenia trwałego na kierunku normalnej zderzenia.

Tabela. 1. Zestawienie algorytmów uczenia perceptronu wielowarstwowego

Nr algorytmu	Nazwa algorytmu
1	Algorytm gradientowy
2	Algorytm gradientowy ze współczynnikiem momentum
3	Algorytm gradientowy ze współczynnikiem momentum i adaptacyjnie dobieranym współczynnikiem uczenia
4	Algorytm RPROP
5	Algorytm sprzężonych gradientów Fletcher-Reeves
6	Algorytm sprzężonych gradientów Polak-Ribiere
7	Algorytm sprzężonych gradientów Powell-Beale
8	Algorytm skalowanych sprzężonych gradientów
9	Algorytm one step secant
10	Algorytm BFGS
11	Algorytm Levenberg-Marquardt
12	Algorytm Bayesian regularization

Miejsca, w których wystąpiło zdarzenie szkodowe zostały podzielony na dwa typy:

- teren zabudowany,
- poza terenem zabudowanym.
- Nadwozia pojazdów zostały sklasyfikowane jako:
 - jednobryłowe,
 - dwubryłowe,
 - trójbryłowe.
- Jako rodzaj kolizji określono:
 - zderzenie pojazdów w ruchu,
 - najechanie na pojazd zatrzymujący się.

Za typ zdarzenia szkodowego przyjęto:

- najechanie na tył pojazdu,
- uderzenie w bok pojazdu,
- uderzenie w przód pojazdu,
- uderzenie w naroże pojazdu.

Zestaw danych składał się z 1000 zarejestrowanych przypadków szkód komunikacyjnych pozyskanych w wyniku analizy akt szkodowych zakładu ubezpieczeń. Dane zostały podzielone na dwie części. Pierwsza część stanowiła dane uczące, zaś druga dane testujące poprawność działania sztucznych sieci neuronowych.

Na wyjściu sieci neuronowych określano wartość pracy deformacji nadwozia pojazdu poszkodowanego. Ponieważ w eksperymencie wykorzystywano sieci neuronowe uczone z nauczycielem [4-7,11,13,16], dlatego niezbędne było określenie wzorcowych wartości pracy deformacji. Dla każdego z zarejestrowanych przypadków szkód

komunikacyjnych dokonano pomiaru wartości średniej szerokości deformacji mierzonej w kierunku stycznej zderzenia, średniej wysokości deformacji oraz wartości odkształcenia trwałego na kierunku normalnej zderzenia. Następnie wykorzystując zależność (1) obliczono wzorcowe wartości pracy deformacji. Sposób wyznaczenia wzorcowych wartości pracy deformacji został wybrany ze względu na to, iż jako jedyny umożliwił określenie wartości pracy deformacji dla wszystkich zarejestrowanych przypadków szkód komunikacyjnych.

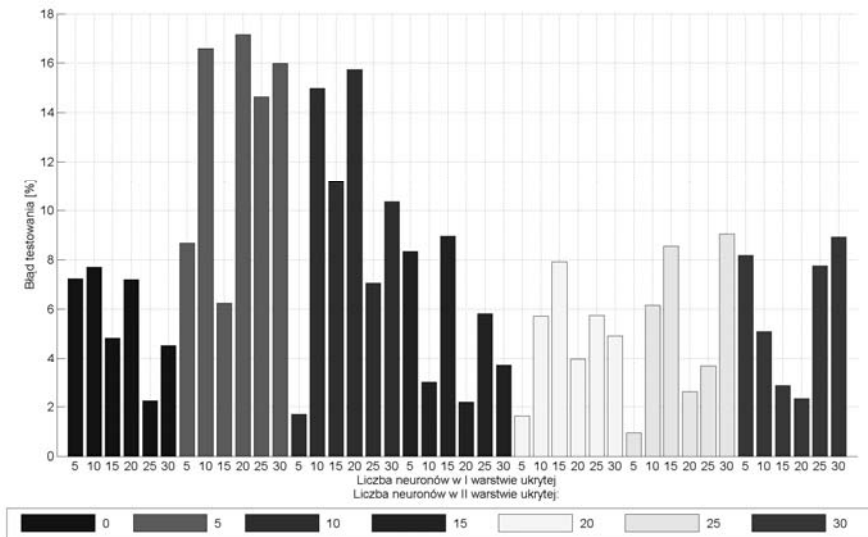
Przy doborze złożoności sieci zaobserwowano, iż zwiększenie liczby warstw ukrytych z odpowiednio dużą liczbą neuronów zwiększa poprawność sztucznej sieci neuronowej. Jest to wynikiem posiadania przez taką sieć większej liczby powiązań, które mogą przechowywać większą liczbę wzorców oraz lepiej korzystać z zapamiętanej wiedzy. Uzyskiwane wyniki pozwalają również zauważyć przypadki, w których wraz ze wzrostem liczby neuronów w pierwszej warstwie ukrytej, błąd początkowo spada, a następnie rośnie. Wynika to z faktu przeuczenia sieci, która traci własności generalizowania. Sieć taka jest wystarczająco złożona, aby nauczyć się prezentowanych jej w procesie uczenia wzorców na pamięć. Nie potrafi jednak w procesie sprawdzenia uogólniać tej wiedzy na podobne wzorce.

Przykładowy wpływ złożoności sieci na wartość błędu testowania przedstawiono na rys. 3.

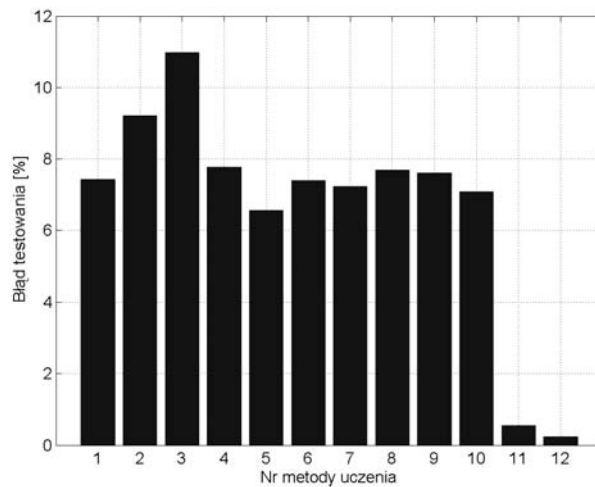
Na rys. 4 przedstawiono najlepsze uzyskane wyniki dla kolejnych algorytmów uczenia sieci neuronowych.

Otrzymane wyniki wskazują na znaczącą rolę doboru algorytmu uczenia sieci neuronowej typu MLP. Najniższymi wartościami błędu testowania charakteryzowały się sztuczne sieci neuronowe uczone przy wykorzystaniu metody uczenia w postaci algorytmu Levenberg-Marquardta oraz algorytmu Bayesian regularization. Wymienione sposoby uczenia perceptronu wielowarstwowego pozwoliły uzyskać błąd klasyfikacji na poziomie poniżej 1%. Otrzymane wartości są kilkakrotnie niższe, niż wartości błędu testowania uzyskiwane dla najlepszych architektur sieci uczonych za pomocą mniej efektywnych algorytmów uczenia.

Na podstawie uzyskanych w eksperymencie wyników można stwierdzić, iż możliwe jest określenie pracy deformacji nadwozia pojazdu przy wykorzystaniu do tego celu perceptronu wielowarstwowego. Należy jednak zauważyć, że bardzo istotnym elementem jest właściwie dobrana liczba warstw ukrytych, liczba neuronów z których są zbudowane oraz algorytm uczenia sztucznych sieci neuronowych.



Rys. 3. Wpływ architektury sieci neuronowej uczonej z wykorzystaniem algorytmu Levenberg-Marquardta na wartość błędu testowania



Rys. 4. Najlepsze uzyskane wyniki dla różnych algorytmów uczenia sieci neuronowych

Porównując dodatkowo uzyskane wyniki z badaniami przedstawionymi w [1] można zauważyć duży wpływ doboru danych wejściowych na uzyskiwane błędy testowania perceptronów wielowarstwowych. W pracy tej Autorzy dodatkowo na wejścia sieci

podawali dane związane z czasem (godzina, miesiąc) i miejscem zdarzenia szkodowego (rodzaj terenu), kolorem pojazdów, informacją na temat uczestników zdarzenia (wiek, płeć, doświadczenie). Zastosowanie w procesie uczenia tylko tych danych, które bezpośrednio mają wpływ na wyznaczaną pracę deformacji nadwozia samochodu pozwoliło zmniejszyć kilkakrotnie otrzymywane wartości błędów testowania.

Literatura

- [1] Czech P., Wilk K., Łukasik R.: *Próba wykorzystania sieci neuronowej MLP do określenia pracy deformacji nadwozia pojazdu po kolizji drogowej*, Teka Komisji Motoryzacji PAN, Zeszyt 33-34, Kraków, 2008.
- [2] Diupero T., Górny A., Wolski E.: *Ustalenie prędkości zderzenia w oparciu o zakres uszkodzeń samochodu*, Materiały z Konferencji „Problemy rekonstrukcji wypadków drogowych”, Instytut Ekspertyz Sądowych. Kraków, 1998.
- [3] Kończykowski W.: *Odtwarzanie i analiza przebiegu wypadku drogowego*, INFOEXPERT, Warszawa, 1993.
- [4] Korbicz J., Kościelny J., Kowalczyk Z., Cholewa W. (praca zbiorowa): *Diagnostyka procesów. Modele, Metody sztucznej inteligencji, Zastosowania*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2002.
- [5] Kosiński R. A.: *Sztuczne sieci neuronowe, Dynamika nieliniowa i chaos*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2002.
- [6] Nałęcz M., Duch W., Korbicz J., Rutkowski L., Tadeusiewicz R.: *Sieci neuronowe, Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna*, tom 6, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 2000.
- [7] Osowski S.: *Sieci neuronowe do przetwarzania informacji*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2000.
- [8] Praca zbiorowa, *Problematyka prawna i techniczna wypadków drogowych*, Instytut Ekspertyz Sądowych, Kraków, 1998.
- [9] Praca zbiorowa, *Wypadki drogowe – elementy analizy technicznej i opiniowania*, WKiŁ, Warszawa, 1985.
- [10] Praca zbiorowa, *Wypadki drogowe, Vademecum biegłego sądowego*, Instytut Ekspertyz Sądowych, Kraków, 2006.
- [11] Rutkowska D., Piliński M., Rutkowski L.: *Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Łódź, 1997.

- [12] Świdera P, Polański A.: *Analiza możliwości zastosowania metody rozwijania siły zderzenia do celów rekonstrukcji wypadków drogowych*, Paragraf na drodze, Nr 07/2003, Instytut Ekspertyz Sądowych, Kraków, 2003.
- [13] Tadeusiewicz R.: *Sieci neuronowe*, Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa, 1993.
- [14] Wach W.: *Metody energetyczne w analizie zderzeń pojazdów*, V Konferencja Naukowo-Techniczna „Problemy bezpieczeństwa w pojazdach samochodowych”, Kielce, 2006.
- [15] Wicher J.: *Kilka uwag o wykorzystaniu EES w rekonstrukcji zderzenia samochodu*, Zbiór referatów „Opiniowanie wypadków drogowych. Niektóre zagadnienia”, SRTSiRD, Warszawa, 2006.
- [16] Żurada J., Barski M., Jędruch W.: *Sztuczne sieci neuronowe*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1996.

MULTILAYER PERCEPTRON AS A TOOL TO MARK THE WORK OF THE MOTOR-CAR BODY DEFORMATION AS A RESULT OF ROAD COLLISION

Summary – In the article the result of the attempt to use the multilayer perceptron to define the state of the motor-car body deformation as a result of road collision is presented. As the research parameter the size of damage of the car of the aggrieved party was assumed, defined by the work of the motor-car body deformation W_{def} . The elements of the mechanism of the damaging event determining the size of the damage were the interior factors of the system. The research was conducted on one thousand cases submitted to liquidate in the Silesian branch of one of the insurance companies.