

LONKWIC Paweł

## **MODELE REGRESYJNE SIECI NEURONOWYCH DO IDENTYFIKACJI SYGNAŁU AKUSTYCZNEGO ZESPOŁU NAPĘDOWEGO DRZWI DŹWIGU OSOBOWEGO**

### *Streszczenie*

*W opracowaniu przedstawiono zastosowanie modeli regresyjnych sieci neuronowych dostępnych w pakiecie Statistica do identyfikacji sygnału akustycznego generowanego podczas pracy modułu napędowego drzwi dźwigu osobowego. Badania prowadzono w oparciu o pomiary wykonane na stanowisku laboratoryjnym za pomocą sonometru wyposażonym w dwa rodzaje silników elektrycznych zasilanych napięciem 380 V oraz 24 V z falownikiem. Przeanalizowano na ile metoda sieci neuronowych jest czuła na modyfikacje amplitudy natężenia dźwięku.*

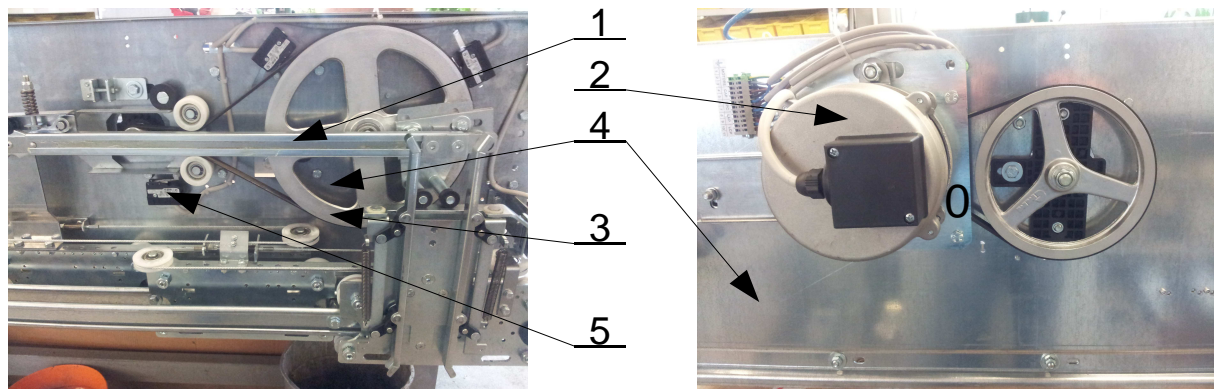
### **WSTĘP**

Eliminacja źródeł dźwięku jest rozwijana równie intensywnie jak powstają źródła emisji. W technice jest znanych wiele rozwiązań eliminujących powstawanie dźwięku np.: maty wygłuszające, podkładki izolujące, ekrany dźwiękochłonne itd. [5]. Eliminacja lub obniżanie poziomu dźwięku znacznie wpływa na zwiększenie komfortu użytkowników. W związku z tym w poniższym artykule postanowiono wskazać w jaki sposób wpływa grubość elementów izolujących typu podkładka na poziom dźwięku pracującego napędu drzwi kabinowych windy. Do obliczeń wykorzystano sieci neuronowe regresyjne. Sieci neuronowe zaliczają się do technik analitycznych wzorowanych na hipotetycznym procesie nauczania w systemie poznawczym i funkcjach neurologicznych mózgu. Za pomocą sieci neuronowych można przewidywać nowe obserwacje (zadanych zmiennych) na podstawie innych obserwacji (dokonywanych na tych samych lub innych zmiennych) po przeprowadzeniu tzw. analiz uczenia w oparciu o istniejące dane [9]. Porównano poziom sygnału akustycznego silnika indukcyjnego z silnikiem nowej generacji typu LBCD.

### **1. MODUŁ NAPĘDU DRZWI KABINOWYCH WINDY**

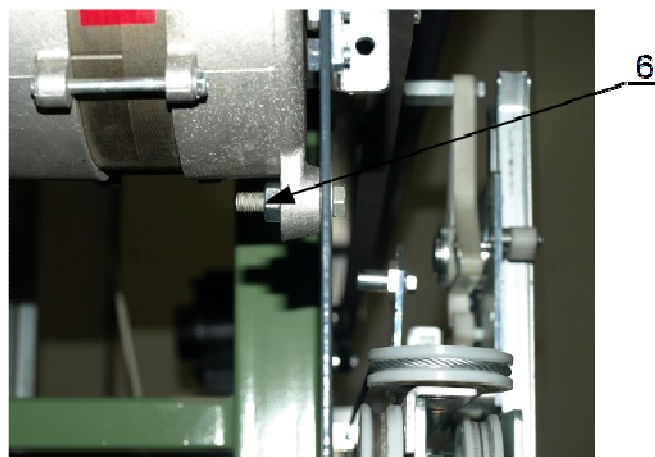
Kabina dźwigu osobowego (windy) wyposażona jest w drzwi kabinowe według wymagań zawartych w normie [8]. Budowa napędu drzwi kabinowych oparta jest na zasadzie mechanizmu korbowego (1) zasilanego silnikiem elektrycznym (2), najczęściej indukcyjnym. Silnik, napędza mechanizm korbowy otwierania drzwi za pomocą przekładni pasowej (3) realizując w ten sposób cykl otwierania oraz zamykania drzwi w czasie postoju kabiny na przystanku. Napęd pokazany został na rysunku 1. Silnik drzwi zamocowany jest do głównego wspornika nośnego modułu drzwi (4), który z kolei jest zamontowany do dachu kabiny

windy. Napęd drzwi wyposażony jest również w szereg łączników elektrycznych (5), stanowiących obwód bezpieczeństwa urządzenia.



**Rys. 1.** Budowa modułu drzwi kabinowych: 1 – mechanizm korbowy, 2 – silnik elektryczny, 3 – przekładnia pasowa, 4 – moduł nośny drzwi, 5 – łącznik elektryczny.

Jak wspomniano powyżej, silnik napędowy modułu drzwi kabinowych zamontowany jest do głównego wspornika nośnego (4) za pomocą trzech śrub (6), co pokazano na rysunku 2.



**Rys. 2.** Sposób montażu silnika modułu drzwi kabinowych windy: 6 – śruby mocujące.

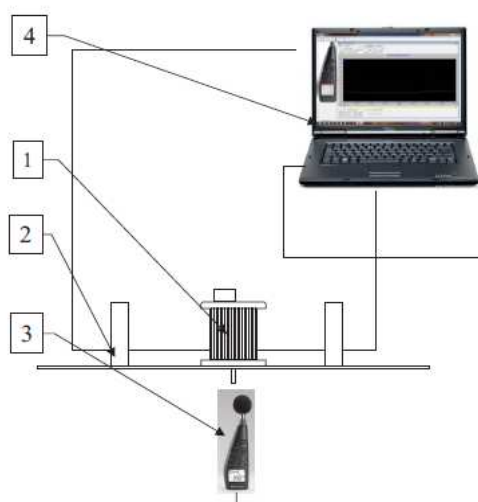
W związku z tym, że napęd drzwi zamontowany jest na dachu kabiny, istnieje możliwość przenoszenia się drogą akustyczną niekorzystnego natężenia dźwięku do wnętrza kabiny powodując przy tym obniżenie komfortu podróżujących.

## 2. CEL PRACY

W niniejszym artykule postanowiono wykazać, na ile czuła jest metoda regresyjnych sieci neuronowych na zmiany natężenia dźwięku na skutek zmian parametrów geometrycznych oraz materiałowych zastosowanych materiałów wibroizolujących silnik napędowy drzwi kabinowych.

## 3. CHARAKTERYSTYKA STANOWISKA BADAWCZEGO

Badania zrealizowano na stanowisku badawczym, którego schemat zaprezentowano na rysunku 3.

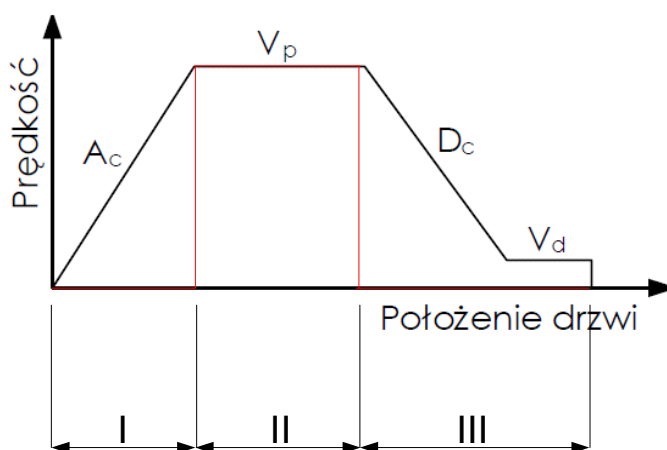


**Rys. 3.** Stanowisko badawcze 1 – silnik pomiarowy, 2 – element nośny napędu drzwi dźwigu osobowego, 3 – mikrofon kierunkowy CENTER 390, 4 – komputer do akwizycji danych.

Obiektem badań były dwa moduły drzwi kabinowych typu 2ATD 750 firmy CMM Mezzago z silnikiem indukcyjnym oraz z silnikiem z magnesami trwałymi typu BLDC.

#### 4. ZASTOSOWANA METODA BADAWCZA

Badania wykonano na stanowisku badawczym (zbudowanym dla potrzeb opisywanych badań) wykorzystując metodę przyspieszania silnika modułu drzwi kabinowych. Przebieg według którego silnik drzwi realizuje cykl pracy pokazany został na rysunku 4.



**Rys. 4.** Przebieg realizacji cyklu pracy modułu napędu drzwi kabinowych [2].

Przedstawiony wykres pracy napędu drzwi kabinowych realizowany jest w 4 etapach,  $A_c$  – przyspieszenie (początek otwierania),  $V_p$  – prędkość ustalona,  $D_c$  – opóźnienie zamykania,  $V_d$  – prędkość domykania [2]. Badania modelowa były realizowane w zakresie prędkości ustalonej  $V_d$ , czyli w II okresie pracy modułu napędu silnika. Badane moduły napędowe drzwi były wyposażone w silniki: indukcyjny o napięciu zasilania 380 V oraz silnik z magnesami trwałymi BLDC. W czasie pomiarów silnik napędu był zamocowany do głównego elementu nośnego kołnierzowo za pomocą trzech śrub, co pokazano na rysunku 2. Pomiary rejestrowano z wykorzystaniem sonometru CENTER 390, którego krótka charakterystyka została przedstawiona w tabeli 1.

**Tab. 1.** Charakterystyka przyrządu pomiarowego CENTER 390 [1].

L.p.	Nazwa	Zakres lub wartość
1.	Zakres częstotliwości	20 Hz÷8 kHz
2.	Zakres pomiarowy poziomu	30÷130 dB
3.	Krzywe ważone	A / C
4.	Mikrofon	Pojemnościowy
5.	Tryby uśredniania	Fast (125 ms) Slow ( 1s)
6.	Zakres dynamiki	100 dB
7.	Dokładność	+/- 1,4 dB dla warunków 94 dB oraz 1 kHz
8.	Zakres temperatury pracy	0÷40 °C
9.	Zakres wilgotności pracy	10÷90%
10.	Klasa przyrządu	2 wg IEC 61672-1

Pomiary wykonywano z silnikiem zamocowanym do elementu nośnego bez podkładek izolujących kołnierz, z podkładkami poliuretanowymi o grubości 2 mm, z podkładkami poliuretanowymi o grubości 4 mm oraz z podkładkami gumowymi o grubości 6 mm. W czasie pomiarów silnik obciążano momentem wynikającym z zasilenia silnika, bez dodatkowych zewnętrznych momentów obciążających w postaci kół pasowych, linowych oraz innych sposobów obciążenia. Rejestracja poziomu dźwięku silników odbywała się za pomocą czujnika rejestrującego poziom dźwięku umieszczonego w odległości 20 mm od obracającej się osi silnika w stanie ustalonym. Po upływie 10 s od uruchomienia silnika, sonometr rozpoczynał rejestrację poziomu dźwięku przez okres kolejnych okres 30 s. Pomiary wykonywano zgodnie z przedstawionym poniżej planem badań, zamieszczonym w tabeli 2.

**Tab. 2.** Plan badań zrealizowanych metodą rozpędzania silnika napędu drzwi kabinowych

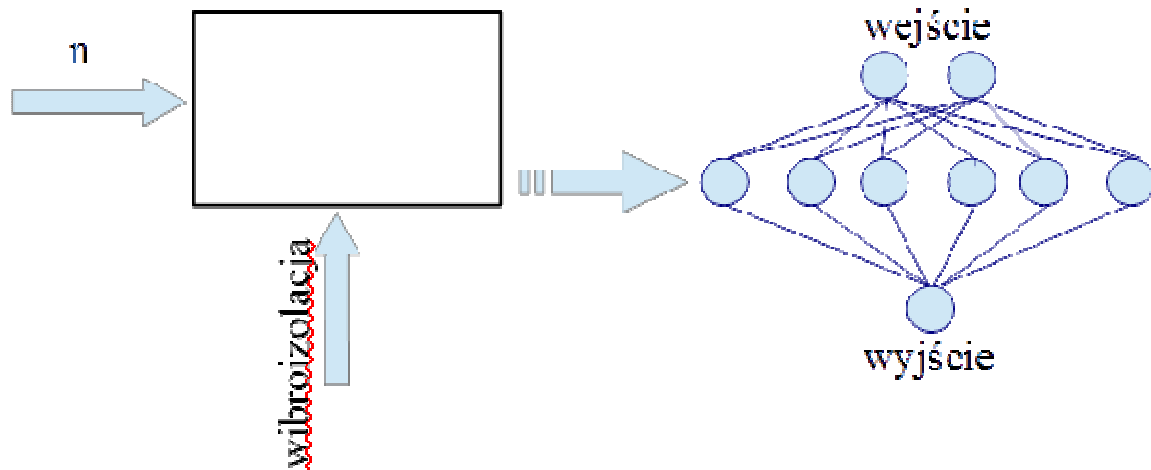
	Bez wibroizolacji	Poliuretan 2 mm	Poliuretan 4 mm	Guma 6 mm
<i>Silnik BLDC_20</i>	X	X	X	X
<i>Silnik BLDC_40</i>	X	X	X	X
<i>Silnik BLDC_60</i>	X	X	X	X
<i>Silnik BLDC_80</i>	X	X	X	X
<i>Silnik BLDC_100</i>	X	X	X	X
<i>Silnik 380 V_20</i>	X	X	X	X
<i>Silnik 380 V_40</i>	X	X	X	X
<i>Silnik 380 V_60</i>	X	X	X	X
<i>Silnik 380 V_80</i>	X	X	X	X
<i>Silnik 380 V_100</i>	X	X	X	X

Według powyższego schematu należało wykonać 10 charakterystyk, z czego każda (np.: BLDC\_20\_4) powstała poprzez uśrednienie 10 pomiarów wykonanych kolejno po sobie. Poszczególne próby oznaczono w następującej kolejności znaków: BLDC – typ silnika; 20 – 20% prędkości nominalnej; 4 – podkładka poliuretanowa o grubości 4 mm.

## 5. MODEL SIECI NEURONOWEJ

Dane do badań zostały pozyskane na drodze pomiarów opisanych w powyższych rozdziałach pracy. Jako dane wejściowe posłużyły dane prędkości silnika, która była stopniowana od 100 do 500 obr/min co 100 obr/min oraz druga jako grubość elementu wibroizolującego. Dane wyjściowe zostały zebrane na drodze pomiarów za pomocą

sonometru opisanego w powyższym rozdziale. Tak zestawione dane posłużyły jako dane do nauczania sieci neuronowej, której wyniki przedstawione zostały poniżej. W wyniku przeprowadzonych obliczeń, uzyskano model sieci neuronowej typu MLP 2-6-1, którego model pokazano na rysunku 5.



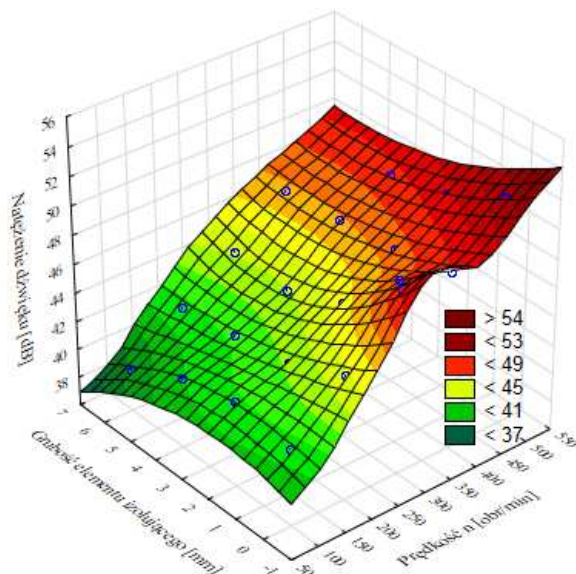
**Rys. 5.** Model sieci neuronowej typu MLP.

Perceptron wielowarstwowy to najczęściej wykorzystywana architektura sieci neuronowej [7, 9]. Opracowany model sieci (dla silnika 380) posiada strukturę złożoną z dwóch neuronów w warstwie wejściowej, sześciu neuronów warstwie ukrytej oraz z jednego neuronu w warstwie wyjściowej. Jako funkcję aktywacji w warstwie ukrytej przyjęto funkcję typu tangens hiperboliczny, a w warstwie aktywacji typu logistycznego. Jakość uczenia uzyskano na poziomie 0,9895. Jakość testowania oraz walidacji uzyskano odpowiednio na poziomie: 0,9918 oraz 0,9920. Błąd uczenia wynosił 0,1233, natomiast błędy testowania oraz walidacji wynosiły odpowiednio 0,1057 oraz 0,0987. W czasie obliczeń zastosowano algorytm o nazwie BFGS 208 9. Opracowany model sieci (dla silnika BLDC) posiada strukturę złożoną z dwóch neuronów w warstwie wejściowej, siedmiu neuronów warstwie ukrytej oraz z jednego neuronu w warstwie wyjściowej. Jako funkcję aktywacji w warstwie ukrytej przyjęto funkcję typu tangens hiperboliczny, a w warstwie aktywacji typu linowego. Jakość uczenia uzyskano na poziomie 0,9840. Jakość testowania oraz walidacji uzyskano odpowiednio na poziomie: 0,9914 oraz 0,9819. Błąd uczenia wynosił 0,1143, natomiast błędy testowani oraz walidacji wynosiły odpowiednio 0,1154 oraz 0,1138. W czasie obliczeń zastosowano algorytm o nazwie BFGS 187 [9].

## 6. ANALIZA ODPOWIEDZI

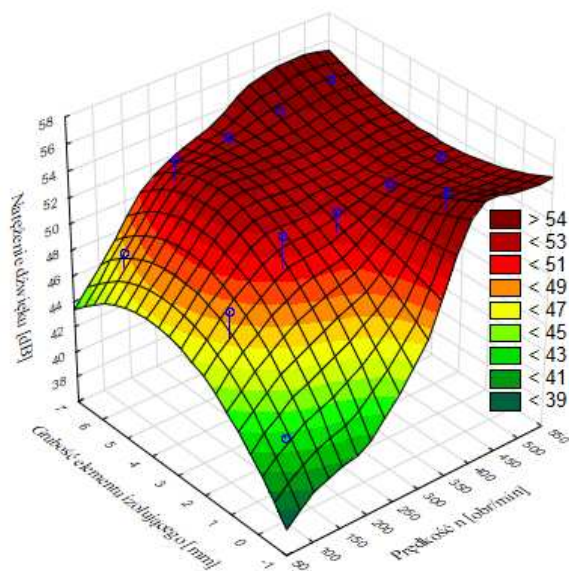
W wyniku przeprowadzonych obliczeń uzyskano model sieci neuronowej typu MLP 2-6-1 (Multilayer Perceptron). Preceptron wielowarstwowy to najczęściej wykorzystywana architektura sieci neuronowej [7, 9]. Na rysunku 6 zaprezentowano odpowiedzi sieci jakie uzyskano na podstawie zmiennych zadanych jako dane wejściowe (prędkość silnika napędowego oraz grubość elementu izolującego) na otrzymane wartości natężenia dźwięku. Wnioskowanie na podstawie modelu zostało oparte na obserwacjach pochodzących z silnika o napięciu 380 V.





Rys. 6. Powierzchnia odpowiedzi modelu sieci dla silnika o napięciu 380 V -  $I=f(n, g)$ .

Na rysunku 7, przedstawiono powierzchnię odpowiedzi dla silnika typu BLDC, które zamodelowano w sposób analogiczny do powyższego.



Rys. 7. Powierzchnia odpowiedzi modelu sieci dla silnika typu BLDC -  $I=f(n, g)$ .

## WNIOSKI

Przeprowadzone badania i ich analiza pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- W przypadku silnika o napięciu zasilania 380 V można zaobserwować spadek natężenia dźwięku pracy przy niskich obrotach w stosunku do wysokich obrotów.
- Ponadto z powierzchni odpowiedzi przedstawionej na rysunku 6 obserwuje się niskie wartości natężenia dźwięku pracy silnika dla niskich wartości obrotów oraz dla dużych wartości grubości elementu izolującego silnik.
- Dla wysokich wartości obrotów silnika 380 V oraz dla dużych wartości grubości elementu izolującego można zaobserwować mniejsze wartości natężenia dźwięku niż dla mniejszych wartości grubości elementu izolującego przy tej samej prędkości, co wydaje się być zbieżne z teorią izolacji

- W przypadku silnika typu BLDC z powierzchni odpowiedzi modelu można zaobserwować podobne zależności jak dla silnika 380 V.
- Na fakt zasługuje tutaj informacja, że dla silnika typu BLDC w zakresie prędkości powyżej 300 obr/min, wartość natężenia dźwięku nie ulega większym zmianom. Jest to spowodowane charakterystyką prądową tego silnika, która w zakresie wyższych prędkości powoduje wzmocnienie emitowanego dźwięku do wartości około 50 db. W związku z tym należy tutaj poszukiwać innych metod obniżających poziom dźwięku.
- Wnioski wynikające z działania modelu sieci neuronowej wydają się znajdować potwierdzenie w teorii wibroizolacji obiektów technicznych typu silnik.

## BIBLIOGRAFIA

1. Instrukcja sonometru CENTER 390.
2. Kolano K., „Problemy sterowania bezreduktorowego układu drzwi kabinowych dźwigu osobowego z silnikiem BLDC” Zeszyty problemowe – Maszyny elektryczne Nr 90/2011
3. Lonkwic P., „Modernizacja dźwigów Istniejących”, Inżynieria Budownictwa nr XII, 2011
4. Lonkwic P., Kolano K. „Nowoczesne silniki BLDC stosowane w napędach drzwi kabinowych”, j. polski; Magazyn Dźwig 2012
5. Łukjaniuk A. „Pomiar poziomu hałasu emitowanego podczas pracy urządzeń mechanicznych” Instrukcja do zajęć laboratoryjnych 2011.
6. Materiały firmy Lift Service S.A. 2000
7. Osowski S., „Sieci neuronowe do przetwarzania informacji”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000
8. PN EN 81.1 + A3 Przepisy bezpieczeństwa dotyczące budowy i instalowania dźwigów. Część 1: Dźwigi elektryczne
9. Tadeusiewicz R. “Sieci neuronowe”, Akademicka Oficyna Wydawnicza RM, Warszawa 1993

## NEURON NETWORK REGRESSIVE MODELS FOR IDENTIFYING ACCUSTIC SIGNAL GENERATED DURING WORK OF PASSENGER LIFT DOOR DRIVING MODULE

### *Abstract*

*The study presents the application of neuron network regressive models available in Statistica package for identifying the acoustic signal generated when the passenger lift door driving module works. the studies were conducted on the basis of measurements performed on laboratory stand with the use of objective noise meter ( sound level meter) equipped with two kinds of electric motors fed with the voltage of 380 V and 24 V with an inverter. It was analyzed, to what extent the neuron network method is sensitive to sound intensity amplitude modifications.*

### **Autor:**

dr inż. Paweł Lonkwic – Lubelska Wytwórnia Dźwigów Osobowych LIFT Service S.A.  
Lublin, plonkwic@gmail.com