



## ZASTOSOWANIE SZTUCZNYCH SIECI NEURONOWYCH DO OCENY STOPNIA ZUŻYCIA TECHNICZNEGO WYBRANEJ GRUPY BUDYNKÓW MIESZKALNYCH

**Paweł Urbański**

*Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Budownictwa, Zakład Technologii i Organizacji Budownictwa*

### **Wprowadzenie**

Systematyczne szacowanie stopnia zużycia technicznego budynków stanowi jeden z wyjściowych punktów do kompleksowego zarządzania substancją mieszkaniową. Wstępne rozeznanie stanu technicznego budynków daje możliwości racjonalnego planowania remontów bieżących i kapitalnych, począwszy od ich wielkości poprzez specyfikę, a skończywszy na ekonomicznej opłacalności ich wykonania [1, 2, 5, 7]. Należy jednak pamiętać, że na całkowite zużycie obiektu składa się zużycie jego elementów i to właśnie ich stan techniczny jest podstawowym czynnikiem decydującym o dalszym losie budynku. Jednak na podjęcie ostatecznej decyzji o przyszłości budynku wpływ mają zarówno uwarunkowania techniczne, kulturowo-społeczne, jak i ekonomiczne.

Mając na uwadze niedoskonałość dotychczasowych metod oceny stopnia zużycia technicznego budynków, w pracy podjęto próbę oszacowania tego stopnia za pomocą sztucznych sieci neuronowych.

Opracowanie każdej „nowej” metody w dowolnej dziedzinie naukowej wymaga stworzenia dobrej podstawowej bazy wyjściowej, która w trakcie postępów w pracy może być poddana weryfikacji lub uzupełnieniu. W przedstawionym opracowaniu wykorzystano grupę protokołów z okresowych kontroli budynków mieszkalnych (w dużej liczbie wykonanych przez autora pracy), z której wyselekcjonowano w pierwszym kroku podgrupę 133 budynków (w drugim kroku bazę powiększono o kolejnych 96 obiektów) z terenu Zielonej Góry, wzniesionych metodami tradycyjnymi przed 1918 rokiem. Wybrana grupa budynków charakteryzuje się jednolitymi rozwiązaniami konstrukcyjno-materiałowymi i architektoniczno-funkcjonalnymi [7]. Zasadnicza baza danych została zbudowana na podstawie analizy materiałów archiwalnych, dotyczących wybranych budynków (ustalano między innymi rok budowy, lokalizację w strefach warunków gruntowo-wodnych, wystąpienie w budynkach zdarzeń losowych) oraz eksperckich ocen dotyczących cech obiektów niewykorzystywanych dotychczas w istniejących metodach obliczania stopnia zużycia technicznego budynków (np.: rodzaju zabudowy, sposobu podpiwniczenia, rodzaju pokrycia i natężenia ruchu ulicznego).



Osobnymi aspektami, znacznie wpływającymi na stopień zużycia technicznego budynków, są: sposób ich utrzymania przez administratora (ilość, rodzaje i zakres remontów), połączony bezpośrednio z warunkami użytkowania stworzonymi przez mieszkańców oraz procentowy udział własności administratora.

Praca ma na celu przede wszystkim przedstawienie ogółu czynników mających znaczący wpływ na stan techniczny wydzielonej grupy budynków. Zaproponowane w opracowaniu uwzględnienie nowej grupy czynników, określających stan techniczny budynków, powinno przyczynić się do bardziej obiektywnej oceny stopnia zużycia technicznego. Należy jednak zwrócić uwagę na grupę założeń, które poczyniono w trakcie opracowywania materiału. Wiele z nich spełnia swoje zadania w początkowej fazie wyłącznie z naukowego punktu widzenia i może budzić wiele zastrzeżeń. Jednak drogą spostrzeżeń i analiz, niejednokrotnie subiektywnych, prowadzą one w konsekwencji do sformułowań bardziej obiektywnych wniosków, mających właściwości uogólniające.

## Metodyka tworzenia zbioru danych

Do czynników wywierających istotny wpływ na stan techniczny budynków, a tylko sporadycznie uwzględnianych w przedmiotowej problematyce zaliczono:

- ◆ wiek budynków;
- ◆ rodzaj zabudowy;
- ◆ rodzaj poddasza i rodzaj jego pokrycia;
- ◆ sposób podpiwniczenia budynków;
- ◆ warunki gruntowe;
- ◆ poziom wód gruntowych;
- ◆ wielkość natężenia ruchu ulicznego;
- ◆ wystąpienie zdarzeń losowych;
- ◆ sposób utrzymania budynków;
- ◆ procentowy udział własności zarządcy.

Tworzenie bazy danych obejmowało badania poligonowe na 229 obiektach, badania ankietowe oraz badania dokumentów archiwalnych. Obejmowały one przede wszystkim:

- ◆ wybór określonej grupy obiektów, porównywalnej z uwagi na zbliżone rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe oraz długi okres eksploatacji, jaki upłynął do momentu obserwacji;
- ◆ dobór zbioru czynników w istotny sposób wpływających na stopień zużycia technicznego budynków, na podstawie literatury oraz doświadczeń autora rozprawy z zakresu specyfiki wykonywania okresowych przeglądów stanu technicznego budynków;



- ◆ opracowanie kwestionariuszy 4 różnych ankiet, w celu zebrania informacji dotyczących wpływu niektórych (trudnych do określenia) czynników na stopień zużycia technicznego budynków;
- ◆ wybranie odpowiednich grup ekspertów, wykazujących się precyzyjną znajomością tematyki z zakresu analizowanych czynników;
- ◆ zebranie wypełnionych ankiet i wstępne ustalenie na ich podstawie wpływu ocenianych czynników na stan techniczny budynków;
- ◆ określenie charakterystyki badanych obiektów pod względem ich wieku, rodzaju zabudowy, sposobu podpiwniczenia, rodzaju pokrycia oraz sposobu utrzymania (wynikającego z ilości i zakresu bieżących prac remontowych) przy współudziale zarządcy obiektów – Zakładu Gospodarki Komunalnej i Mieszkaniowej w Zielonej Górze;
- ◆ ustalenie w oparciu o badania archiwalne (notowane przez Miejską Komendę Straży Pożarnej w Zielonej Górze) wystąpienia zdarzeń losowych na analizowanych budynkach, w postaci pożarów, powodzi, zalań wewnątrz obiektów itp.;
- ◆ zebranie materiałów dotyczących lokalizacji badanych obiektów w stosunku do uciążliwości ruchu ulicznego, wykonane przy pomocy Wydziału Infrastruktury i Ochrony Środowiska Urzędu Miejskiego w Zielonej Górze;
- ◆ zgromadzenie na podstawie materiałów archiwalnych informacji dotyczących warunków gruntowo-wodnych w rejonie Zielonej Góry, ze szczególnym uwzględnieniem rejonu lokalizacji badanych budynków;
- ◆ zestawienie zebranego materiału, uporządkowanie i pogrupowanie go w odpowiednie klasy, według własnej oceny autora rozprawy;
- ◆ przygotowanie opracowanej bazy danych do wymogów specyfiki pracy sztucznych sieci neuronowych;

Powyższa metodyka tworzenia zbioru danych umożliwić powinna podanie odpowiedzi na pytanie, jaki wpływ wywierają poszczególne czynniki na stopień zużycia technicznego budynków.

Publikacje nawiązujące do problematyki remontowej [7, 9] pokazują, jak na przestrzeni lat systematycznie pogłębiały się zaniedbania w sferze prac remontowo-naprawczych (w roku 1970 wyremontowano 14,3 tys. budynków, a w roku 1994 tylko 0.7 tys.) [9]. Potwierdza to jedynie stan techniczny analizowanych budynków i rzetelność przeprowadzonych ocen eksperckich.

## **Transformacja danych lingwistycznych na dane liczbowe**

### ***Sposób przekalowania danych wejściowych***

W pierwszej fazie obliczeń wszystkie rozważane czynniki wpływające na stopień zużycia technicznego budynku przyjęto jako równoważne. Przyjęcie takiego założenia przyczyniło się do zaniechania wprowadzenia wag podkreślających ważność poszczególnych



czynników. Istotność każdego z czynników (w świetle propozycji nowej metody) próbowano ustalić jedynie poprzez usuwanie każdego z nich w fazie obliczeń i analizę otrzymanych rezultatów.

W dalszych obliczeniach (przy jednoczesnym zmniejszeniu liczby czynników i zaniechaniu skalowania pseudo-rozmytego oraz powiększeniu liczby obiektów) zróżnicowano znaczenie poszczególnych czynników poprzez wprowadzenie dodatkowych wielkości wag, które wybierano z przedziału  $\{0,1 \div 0,9\}$ .

Dla rozpatrywanych czynników przyjęto następujące współczynniki wag:

$w_1$  - rok budowy - waga = 0,9

$w_2$  - sposób podpiwniczenia budynku - waga = 0,26

$w_3$  - rodzaj zabudowy - waga = 0,1

$w_4$  - rodzaj pokrycia dachowego - waga = 0,58

$w_5$  - rodzaj poddasza budynku - waga = 0,74

$w_6$  - procentowy udział własności zarządcy - waga = 0,42

### ***Skalowanie liniowe***

W pierwszym etapie pracy wszystkie dane zostały przeskalowane liniowo do przedziału  $[0,1 \div 0,9]$ . W obszarze poszczególnych czynników dokonano szczegółowej analizy ich wpływu na stan techniczny budynków i każdemu z tych czynników w zależności od skali wartości przyporządkowywano wartość liczbową. Czynnik mający (w założeniu autora) mały wpływ (wywierający najmniej niekorzystny wpływ) na stopień zużycia technicznego „otrzymywał” wartość najmniejszą (0,1), natomiast czynnik wywierający duży wpływ (oddziałujący w sposób najbardziej niekorzystny) na stan techniczny obiektu uzyskiwał wartość największą (0,9). Czynnikom pośrednim nadawano (w zależności od ich ilości) wartości pośrednie z przedziału od 0,1 do 0,9. Uzyskane w ten sposób liczby stanowiły dane wejściowe do nauczania i testowania sieci. W przypadku braku jednoznaczności co do znaczenia poszczególnych czynników (rodzaju zabudowy, sposobu podpiwniczenia, natężenia ruchu ulicznego oraz sposobu utrzymania budynku) wykorzystano „systemy eksperckie”, które ułatwiły przyjęcie poszczególnych wartości wejściowych. Oceny te stanowiły również podstawę do przeskalowania danych lingwistycznych innymi metodami (metoda wykorzystująca teorię zbiorów rozmytych).

### ***Skalowanie pseudo-rozmyte***

W drugiej fazie z uwagi na brak konsensusu w ocenach eksperckich przy ustalaniu ważności niektórych cech dane  $w_2$ ,  $w_4$ ,  $w_7$  i  $w_9$  zdefiniowano jako sumę ważoną natężeń.

$w_2$  – wpływ rodzaju zabudowy na stopień zużycia technicznego budynku,

$w_4$  – wpływ sposobu podpiwniczenia na stopień zużycia technicznego budynku,

$w_7$  – wpływ natężenia ruchu ulicznego na stopień zużycia technicznego budynku,

$w_9$  – wpływ sposobu utrzymania budynku na stopień zużycia technicznego.

$$\mu_L^{ij} = \frac{O_{LE}^{ij}}{N_{ij}}$$

gdzie:

$O_{LE}^{ij}$  – łączna liczba ocen ekspertów dotycząca czynnika  $i$  oraz zmiennej lingwistycznej ekspertów  $LE$ ;

$N_{ij}$  – łączna liczba ocen ekspertów dotycząca czynnika  $i$  (liczba ekspertów);

$$w_L = \sum_L w_L \mu_L^{ij} = w_{BM} \mu_{BM}^{ij} + w_M \mu_M^{ij} + w_S \mu_S^{ij} + w_D \mu_D^{ij} + w_{BD} \mu_{BD}^{ij}$$

gdzie:

$i$  – numer czynnika wpływającego na stan techniczny budynku, ( $i = 2, 4, 7$  i  $9$ );

$j$  – liczba zdarzeń w obszarze czynnika  $i$  (liczba rodzajów zabudowy, liczba sposobów podpiwniczenia, liczba ulic, liczba budynków);

$L$  – zmienne lingwistyczne;

$w_L$  – wartości wag odpowiadające zmiennym lingwistycznym  $L$ .

Szczegółowe zestawienie wartości wag  $w_L$  odpowiadające zmiennym lingwistycznym  $L$  oraz zmienne lingwistyczne ekspertów  $LE$  zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Wartości wag  $w_L$  odpowiadające zmiennym lingwistycznym  $L$  oraz zmienne lingwistyczne ekspertów  $LE$ .

$L$	$w_L$	Zmienne lingwistyczne ekspertów $LEi$ dla czynników $i$ odpowiadające zmiennym lingwistycznym $L$			
		$i = 2$ rodzaj zabudowy	$i = 4$ sposób podpiwniczenia	$i = 7$ natężenie ruchu ulicznego	$i = 9$ sposób utrzymania budynku
BM	0.1	Mały	Mały	Bardzo małe	Bardzo dobry
M	0.3	---	---	Małe	Dobry
S	0.5	Średni	Średni	Średnie	Przeciętny
D	0.7	---	---	Duże	Zły
BD	0.9	Duży	Duży	Bardzo duże	Bardzo zły

Dla przeskalowanego na wartości liczbowe wpływu czynników wykonano drugą część obliczeń, stosując do tego celu (podobnie jak po przeskalowaniu liniowym) sieci z algorytmem wstecznej propagacji błędów i sieci o radialnych funkcjach bazowych.



## Analiza neuronowa stopnia zużycia technicznego

W pracy do analizy neuronowej zagadnienia wykorzystano dwa rodzaje sieci [11, 13]:

- ◆ Back Propagation – BP;
- ◆ Radial Basis Function – RBF.

Dla obu rodzajów sieci, składowymi wektora wejścia  $x$  były:

$$x = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_{10}\},$$

gdzie:

- $w_1$  – rok budowy;
- $w_2$  – rodzaj zabudowy;
- $w_3$  – rodzaj pokrycia dachu;
- $w_4$  – sposób podpiwniczenia;
- $w_5$  – warunki gruntowe;
- $w_6$  – poziom wód gruntowych;
- $w_7$  – poziom natężenia ruchu ulicznego;
- $w_8$  – zdarzenia losowe (pożar, powódź);
- $w_9$  – sposób utrzymania obiektu (remonty);
- $w_{10}$  – procentowy udział własności zarządcy.

Pierwsza sieć zbudowana była z 9 składowych wektora wejścia. W następnych etapach usuwano kolejno jeden z wektorów wejściowych celem ustalenia ich stopnia ważności w całym procesie uczenia i testowania sieci. Zarówno w przypadku sieci BP, jak też RBF, na wyjściu podawano stopień zużycia technicznego budynku:

$$y = e$$

W dalszych etapach nauki i testowania sieci BP wykorzystywano sieci z różną liczbą warstw ukrytych (lecz dodanie każdej nowej warstwy ponad jedną powodowało pogorszenie wyników), sieci z różnymi wartościami parametrów momentum ( $\alpha$ ) i stałej uczenia ( $\eta$ ) (najlepsze rezultaty otrzymano dla parametrów  $\eta = 0.6$  i  $\alpha = 0.3$ ) oraz sieci, dla których losowo dobierano zbiór danych uczących i testujących. Wszystkie te próby nie spowodowały jednak poprawy wyników, lecz ich pogorszenie. Symulacje komputerowe sieci BP i RBF wykonano za pomocą programu *STATISTICA Neural Networks* [10].

Zbieżność procesu iteracyjnego dla sieci BP i RBF szacowano na podstawie pierwiastka z uśrednionego błędu kwadratowego – RMS:

$$RMS(S) = \sqrt{\frac{1}{S} \sum_{p=1}^S \left( t(p) - y(p) \right)^2}$$

gdzie:

$S = L, T$ ;



$t_i^{(p)} - y_i^{(p)}$  – znane i obliczone wartości wektora wyjścia.

Zbiory danych rozdziela się na zbiór próbek uczących o numerach  $p = 1, \dots, L$  oraz testujących  $t = 1, \dots, T$ .

Podczas procesu uczenia liczy się równocześnie błędy uczenia RMSL i RMST.

Stosowano następujące kryteria zakończenia procesu iteracji:

1.  $\text{RMSL} \approx \text{RMST}$ ;
2.  $\text{RMST}(k) \approx \min \text{RMST}$ , gdzie  $k$  – liczba epok kończąca proces iteracyjny.

Przeprowadzono również analizę statystyczną otrzymanych wyników [3, 4], w której wykorzystano następującą grupę parametrów:

- ♦ obliczano błąd względny próbki  $ewp$  oraz średni błąd względny  $ewS$ :

$$ewS = \frac{1}{S} \sum_{j=1}^S ewp, \quad ewp = \left| 1 - y^{(p)} / z^{(p)} \right| * 100\%,$$

$$\max ewp = \max_{p=1, \dots, S} (ewp)$$

- ♦ poziom dokładności szacowano za pomocą współczynnika korelacji liniowej  $r_s$ :

$$r_s = \frac{s_{zy}}{s_z \times s_y}$$

- ♦ średnie arytmetyczne:

$\bar{z} = \frac{1}{S} \sum_{p=1}^S z^{(p)}$  – średnia arytmetyczna dla wektora wejścia na podstawie danych doświadczalnych;

$$\bar{y} = \frac{1}{S} \sum_{p=1}^S y^{(p)}$$

$$s_{zy} = \frac{1}{S-1} \sum_{p=1}^S \left( z^{(p)} - \bar{z} \right) \left( y^{(p)} - \bar{y} \right)$$

$$s_z^2 = \frac{1}{S-1} \sum_{p=1}^S \left( z^{(p)} - \bar{z} \right)^2$$

$$s_y^2 = \frac{1}{S-1} \sum_{p=1}^S \left( y^{(p)} - \bar{y} \right)^2$$

Podsumowanie całości prac związanych z każdą siecią stanowiło wykonanie wykresów rozrzutu ukazujących porównanie wyników uzyskanych doświadczalnie i wyników otrzymanych za pomocą sieci oraz pokazanie liczebności próbek w poszczególnych przedziałach błędów w formie histogramu i dystrybucji.



## Zestawienie uzyskanych rezultatów

W tabelach 2, 3, 4, 5 przedstawiono wybrane rezultaty uzyskane dla sieci typu BP (Back Propagation), jak też RBF (Radial Basis Function), zarówno dla danych przeskalowanych w sposób liniowy i pseudo-rozmyty.

Tabela 2. Wyniki uczenia i testowania sieci typu BP,  $\eta = 0.6$ ,  $\alpha = 0.3$ , epok 200 – skalowanie liniowe.

Nr sieci	Architektura sieci	Liczba próbek		RMS		Max ewp [%]	ewS [%]	rs
		L	T	L	T			
I/-4	8 – 4 – 1	88	44	7.65	7.65	63.83	12.48	0.6583
I/-5	8 – 4 – 1	88	44	8.80	8.85	47.29	16.54	0.5009
II/1÷9*	9 – 5 – 1	88	44	7.41	7.52	40.93	11.55	0.7113

Tabela 3. Wyniki uczenia i testowania sieci typu BP,  $\eta = 0.6$ ,  $\alpha = 0.3$ , epok 200 – skalowanie pseudo-rozmyte.

Nr sieci	Architektura sieci	Liczba próbek		RMS		Max ewp [%]	ewS [%]	rs
		L	T	L	T			
I/ps 7	9 – 5 – 1	88	44	7.87	7.87	51.81	13.48	0.6422
I/ps 7, 9	9 – 5 – 1	88	44	7.73	7.73	50.64	12.45	0.7311
I/ps 4, 7, 9*	9 – 5 – 1	88	44	6.63	6.69	49.61	11.96	0.7577
I/ps 2, 4, 7, 9	10 – 5 – 1	88	44	6.67	6.82	51.20	11.22	0.7855

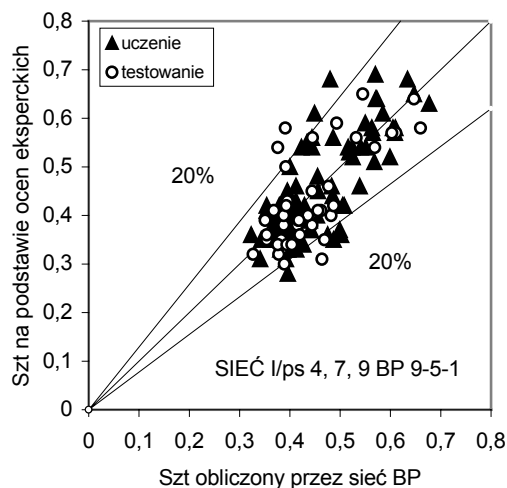
Tabela 4. Wyniki uczenia i testowania sieci typu RBF – skalowanie liniowe.

Nr sieci	Architektura sieci	Liczba próbek		RMS		Max ewp [%]	ewS [%]	rs
		L	T	L	T			
II/-2*	8 – 29 – 1	88	44	8.02	8.04	50.81	14.38	0.6139
II/-4	8 – 21 – 1	88	44	8.37	8.38	49.96	14.38	0.5637
II/-8	8 – 20 – 1	88	44	8.62	8.62	56.81	16.10	0.5290

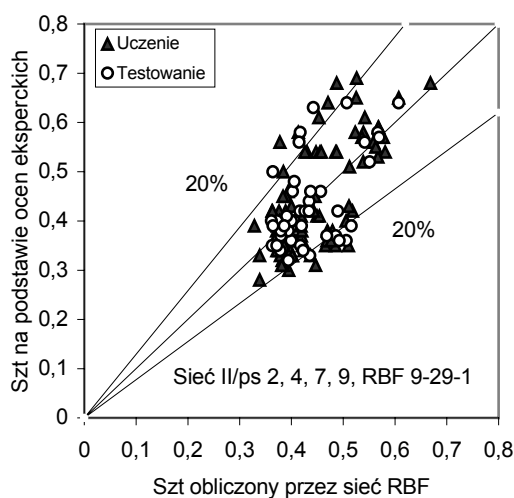
Tabela 5. Wyniki uczenia i testowania sieci typu RBF – skalowanie pseudo-rozmyte.

Nr sieci	Architektura sieci	Liczba próbek		RMS		Max ewp [%]	ewS [%]	rs
		L	T	L	T			
II/ps 4	9 – 10 – 1	88	44	8.69	9.63	72.71	16.97	0.4774
II/ps 4, 7	9 – 21 – 1	88	44	8.55	8.15	60.71	14.81	0.5555
II/ps 2, 4, 7, 9*	9 – 29 – 1	88	44	7.85	7.54	45.70	13.90	0.6446

\* – sieć „najlepsza”

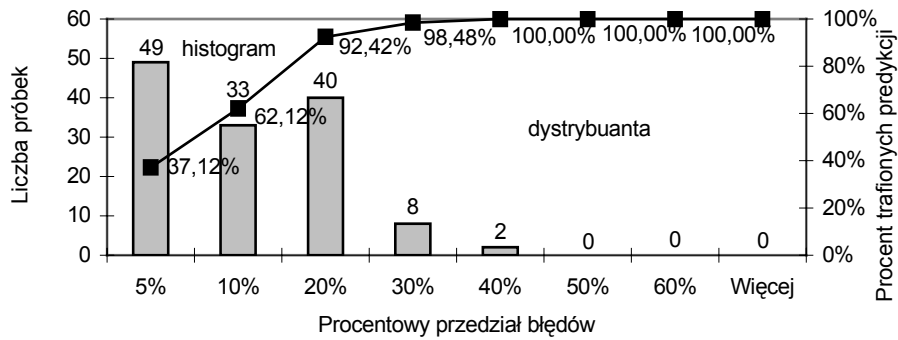


Rys. 1. Porównanie stopnia zużycia technicznego budynków otrzymanego na podstawie ekspertyz oraz obliczonego za pomocą sieci BP I/ps 4, 7, 9.

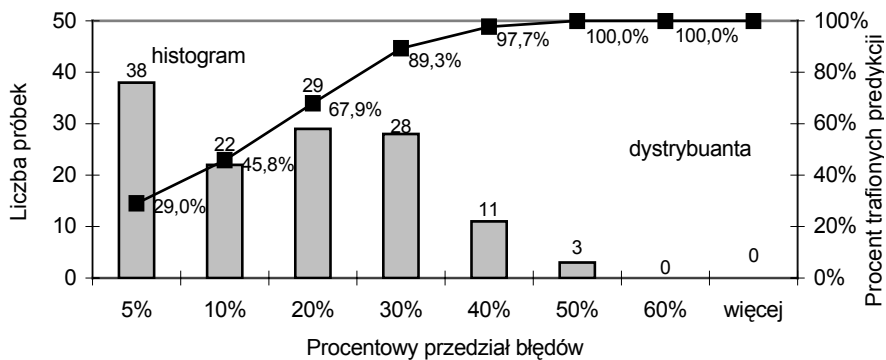


Rys. 2. Porównanie stopnia zużycia technicznego budynków otrzymanego na podstawie ekspertyz oraz obliczonego za pomocą sieci RBF II/ps 2, 4, 7, 9.

Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono porównanie wyników uzyskanych dla najlepszych sieci typu BP i RBF z rezultatami uzyskanymi z ocen eksperckich. Natomiast histogramy (rys.3 i 4) ukazują procent trafności predykcji w poszczególnych przedziałach błędów.



Rys. 3. Histogram i dystrybuanta liczebności próbek w poszczególnych przedziałach błędów dla sieci BP I/ps 4, 7, 9.

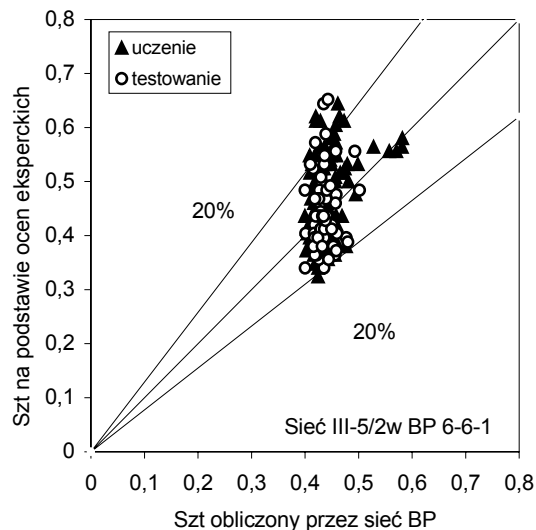


Rys. 4. Histogram i dystrybuanta liczebności próbek w poszczególnych przedziałach błędów dla sieci RBF II/ps 2, 4, 7, 9.

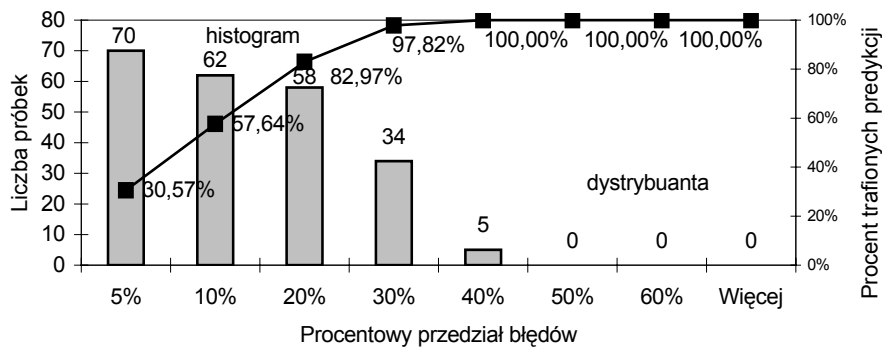
W tabeli 6 oraz na rysunkach 5 i 6 przedstawiono natomiast wybrane najlepsze rezultaty uzyskane dla sieci typu BP (Back Propagation) oraz RBF (Radial Basis Function) w przypadku wprowadzenia wag ważności poszczególnych czynników.

Tabela 6. Wyniki uczenia i testowania sieci BP i RBF - skalowanie liniowe + wagi.

Nr sieci	Architektura sieci	Liczba próbek		RMS		Max ewp [%]	ewS [%]	$r_s$
		L	T	L	T			
BP III-5/2w	6-6-1	153	76	6,689	6,641	32,48	10,78	0,3491
RBF III-6/2w	6-30-1	153	76	6,548	6,368	39,8	11,48	0,3768



Rys. 5. Porównanie stopnia zużycia technicznego budynków otrzymanego na podstawie ekspertyz oraz obliczonego za pomocą sieci BP III-5/2w.



Rys. 6. Histogram i dystrybuanta liczebności próbek w poszczególnych przedziałach błędów dla sieci BP III-5/2w.

Podsumowanie wszystkich obliczeń stanowi porównanie wybranych parametrów statystycznych obliczonych dla wybranych metod oceny stanu technicznego budynków – tabele 7 i 8.

Tabela 7. Porównanie wyników (za pomocą parametrów statystycznych) otrzymanych przez sieć BP I/ps 4, 7, 9, wybrane metody czasowe i metodę wizualną – grupa 133 budynków i 10 czynników.

Parametr statystyczny	Formuła czasowa $S_{zt} = \frac{t(t+T)}{2T^2}$	Formuła czasowa $S_{zt} = \frac{t^2}{T^2}$	Metoda wizualna	Sieć neuronowa
a	b	c	d	e
Średnia wartość $S_{zt}$	77.9 %	71.88 %	44.17 %	<b>44.9%</b>
Wsp. korelacji do SSN	0.3104	0.3115	0.7576	<b>1.00</b>
Wariancja	255.7	497.13	129.67	<b>66.46</b>
Odchylenie standardowe	15.99	22.30	10,15	<b>8.15</b>
Błąd standardowy	1.39	1.94	0.88	<b>0.71</b>

Tabela 8. Porównanie wyników (za pomocą parametrów statystycznych) otrzymanych przez sieć BP III-5/2w i metodę wizualną – grupa 229 budynków i 6 czynników z wagami ważności.

Parametr statystyczny	Metoda wizualna	Sieć neuronowa
a	b	c
Średnia wartość $S_{zt}$	43,80%	<b>42,16%</b>
Współczynnik korelacji do SSN	0,3491	<b>1</b>
Wariancja	76,407	<b>11,157</b>
Odchylenie standardowe	8,741	<b>3,34</b>
Błąd standardowy	0,58	<b>0,22</b>

Przedstawione w tabelach 7 i 8 zestawienie wyników potwierdza zasadność stosowania sztucznych sieci neuronowych do szacowania stopnia zużycia technicznego charakterystycznych grup budynków mieszkalnych. Należy jednak zwrócić uwagę na następujące zależności:

- ◆ uzyskane przez sieci neuronowe rezultaty są porównywalne z wynikami metody wizualnej, gdyż na jej podstawie były uczone i testowane;
- ◆ proponowana metoda określania stopnia zużycia technicznego budynków powinna być porównywana do metod czasowych, ponieważ jak metody czasowe nie wymaga wykonywania wizji lokalnej budynku, a daje rezultaty porównywalne z metodą wymagającą szczegółowych oględzin obiektu.

## Podsumowanie

Podstawowym celem pracy było zbudowanie nowej metody określania stopnia zużycia technicznego budynków z wykorzystaniem nowoczesnych narzędzi sztucznej inteligencji w postaci sztucznych sieci neuronowych.



Nowatorstwo zaproponowanego systemu polega również na uwzględnieniu relacji między zużyciem a czynnikami wpływającymi na stan techniczny obiektów. Do liczbowego oznaczenia tych relacji zastosowano systemy eksperckie oraz wykorzystano tzw. metody miękkie do przetwarzania informacji lingwistycznych na wartości liczbowe.

Należy podkreślić, że przedstawiony system nie ma na celu całkowitego zastąpienia obecnie stosowanych metod, stanowić może jedynie kolejną propozycję w określaniu stopnia zużycia technicznego zabudowy mieszkalnej. Za celowe należy uznać możliwość wykorzystania systemu do racjonalnego, globalnego planowania potrzeb remontowych określonej grupy zabudowy mieszkalnej o zbliżonych cechach konstrukcyjno-technologicznych i materiałowych. Zastosowanie tej metody w planowaniu robót remontowych nie musi wcale ograniczać się do określania tylko ilości i zakresu robót, ale daje także możliwości ustalenia ich specyfiki. Ułatwia to w znacznym stopniu dobór właściwych i specjalistycznych wykonawców oraz może pozwolić na racjonalne gospodarowanie środkami finansowymi przeznaczanymi na cele remontowe.

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury tematu, analizy wpływu poszczególnych wskaźników na stan techniczny budynków oraz interpretacji otrzymanych rezultatów można sformułować następujące wnioski:

- ◆ Zbudowany za pomocą sztucznych sieci neuronowych model pozwolił na wiarygodne określenie stopnia zużycia technicznego wybranej grupy budynków mieszkalnych;
- ◆ Dokładność zaproponowanej metody w stosunku do metod czasowych oraz wizualnych należy określić jako zadowalającą. Ponad 90% próbek poddanych uczeniu i testowaniu mieści się w 20 % granicy błędu (uzyskane wyniki pracy sieci są bardziej zbliżone do wyników uzyskanych metodą wizualną niż do rezultatów uzyskiwanych za pomocą metod czasowych);
- ◆ Analiza wyników pozwoliła ocenić dobór grupy czynników wpływających na stan sprawności technicznej budynków;
- ◆ Interpretacja przeprowadzonych ankiet eksperckich z jednej strony potwierdza trudności związane z jednoznacznym określeniem wpływu charakterystycznych czynników na stan techniczny budynków, natomiast z drugiej strony podkreśla możliwości oraz znaczenie stosowania tego typu metod w teorii oraz praktyce inżynierskiej.
- ◆ Przeskalowanie danych lingwistycznych na współczynniki informacyjnego pobudzenia sieci pozwoliło na otrzymanie lepszych rezultatów w przypadku zastosowania metod opartych na teorii zbiorów rozmytych;
- ◆ Uzyskane rezultaty pozwalają na wykorzystanie proponowanej metody w praktyce budowlanej. Metoda będzie przydatna do szacowania stopnia zużycia technicznego dużej, charakterystycznej ze względu na rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe grupy budynków mieszkalnych;



Wnioski szczegółowe odnoszące się zarówno do stanu technicznego budynków, jak też do wykorzystanego w pracy narzędzia można sformułować następująco:

- ◆ Wnioski dotyczące oceny stanu technicznego:
  - okresowe przeglądy stanu technicznego oraz późniejsze analizy statystyczne danych i otrzymanych wyników pozwoliły ustalić, że na stan techniczny budynków w głównej mierze wpływają: sposób ich utrzymania (czyli ilość, jakość i zakres przeprowadzanych prac remontowych) oraz rodzaj poddasza i jego pokrycie [11];
  - wiek obiektów nie jest podstawowym wskaźnikiem decydującym o stanie sprawności technicznej i użytkowej obiektów;
- ◆ Wnioski dotyczące zastosowania sztucznych sieci neuronowych:
  - zastosowanie sztucznych sieci neuronowych do predykcji stopnia zużycia technicznego budynków potwierdziło zasadność ich stosowania do rozwiązywania zagadnień inżynierskich;
  - sieci neuronowe mogą być efektywnie stosowane do oceniania stopnia zużycia technicznego grupy budynków mieszkalnych o wspólnych cechach konstrukcyjno–materiałowych; bezpośredni wpływ na uzyskiwane wyniki mają: rodzaj sieci, jakość przygotowania danych wejściowych (różne kombinacje w trakcie ich wprowadzania i sposób ich przeskalowania) oraz wszelkie parametry umożliwiające modyfikację architektury sieci i zmieniające skuteczność ich działania (liczba warstw ukrytych, liczba neuronów w warstwach ukrytych, wartość stałej uczenia oraz momentum);
  - lepsze wyniki uczenia i testowania sieci oraz związane bezpośrednio z nimi wyniki analiz statystycznych uzyskiwano przy zastosowaniu sieci BP (wynika to z lepszych zdolności uogólniających tego typu sieci w stosunku do sieci RBF, realizujących aproksymację typu lokalnego); zastosowane w pracy sieci neuronowe dają najlepsze rezultaty w przypadku konstruowania prostych;
  - optymalne rozwiązania dla różnych sieci w zakresie wprowadzanych danych uzyskiwano przy 200 epokach oraz wartościach stałej uczenia  $\eta = 0.6$  oraz momentum  $\alpha = 0.3$ ;
  - lepsze odwzorowanie rzeczywistości, zarówno dla sieci BP, jak i RBF uzyskano przy zastosowaniu pseudo-rozmytego skalowania danych lingwistycznych opisujących cechy jakościowe budynków;
  - aproksymacja neuronowa niezależnie od rodzaju i struktury sieci daje wyniki obarczone błędami na poziomie od 10,78% do 16,97% dla średniego błędu względnego, a od 32,48% do 72,71% dla maksymalnego błędu względnego oraz od 0,3491 do 0,7855 dla wartości współczynnika korelacji;
  - podjęta próba wykorzystania sieci neuronowych (przy wykorzystaniu takiej samej bazy danych) do określania stopnia zużycia technicznego elementów składowych budynku dała negatywne rezultaty (wystąpiły duże, niedopuszczalne wartości średnich i maksymalnych błędów względnych; wyników nie zamieszczono w pracy).

## Literatura

1. Czapliński K., Marcinkowska E., 1988. Planowanie technologii i organizacji robót remontowych i modernizacyjnych na podstawie statystycznej oceny stopnia zużycia elementów technicznych budynku. XXXIV Konferencja Naukowa KILIW PAN i KN PZITB, Gliwice-Krynica, 1998.
2. Czubaszek Z., 1988. Remonty i modernizacja zasobów mieszkaniowych – potrzeby, możliwości oraz uwarunkowania ich realizacji do roku 1990 i prognoza na dalsze lata. XXXIV Konferencja Naukowa KILIW PAN i KN PZITB, Gliwice-Krynica, 1998.
3. Dąbrowski A., Gnot S., Michalski A., Srzednicka J., 1994. Statystyka. Wrocław: Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu.
4. Greń J., 1982. Statystyka matematyczna modele i zadania. Warszawa PWN.
5. Januszaniec B., 1988. Zużycie fizyczne i moralne zasobów mieszkaniowych, a granica opłacalności ich remontów i modernizacji. XXXIV Konferencja Naukowa KILIW PAN i KN PZITB, Gliwice-Krynica, 1998, ss.31-40.
6. Kornilowicz J., 1998. Ocena rozmiarów potrzeb remontowych budynków mieszkalnych w miastach. IX Konferencja Spalska. Budowa i utrzymanie domów mieszkalnych, Spała 15–17.10.1998.
7. Marcinkowska E., 1995. Techniczne problemy utrzymania zasobów mieszkaniowych po 2000 roku. Konferencja Naukowa, Budownictwo mieszkaniowe po 2000 roku. Politechnika Częstochowska, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, konferencje nr 3, Częstochowa 1995, ss. 107-110.
8. Marcinkowska E., Urbański P., 1998. Ocena stopnia technicznego zużycia budynków mieszkalnych przy zastosowaniu sztucznych sieci neuronowych. Konferencja Naukowa, Ekologia w inżynierii procesów budowlanych, Lublin – Kazimierz Dolny 21-24 maja 1998, T. II, ss. 319-325.
9. Praca zbiorowa pod kierunkiem L. Runkiewicza, 2001. Błędy i uszkodzenia budowlane oraz ich usuwanie, Wydawnictwo Informacji Zawodowej „WEKA”, Luty 2001.
10. *STATISTICA Neural Networks*. 1998. Statsoft.
11. Urbański P., 2000. Applying Neural Networks for Estimation the Rate of Technological Wear of Buildings. Polish – German Symposium on Science Research Education SRE'2000. Zielona Góra September 28–29, 2000, pp.135–140.
12. Urbański P., 1998. Problemy natury administracyjno-prawnej i budowlanej związane z adaptacją poddaszy na cele mieszkaniowe. IX Konferencja Spalska, Budowa i Utrzymanie Domów Mieszkalnych, Spała 15-17.10.1998.
13. Waszczyszyn Z., 1999. Wprowadzenie do sztucznych sieci neuronowych i ich zastosowań w mechanice konstrukcji. Seminarium sieci neuronowe, algorytmy genetyczne, zbiory rozmyte. PTMKM, PAN, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 28-29 maja 1999, ss. 5-36.